

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH, VÝSTAVBA A MĚŘENÍ OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAN AMBROŽ

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**  
**DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

# **NÁVRH, VÝSTAVBA A MĚŘENÍ OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ**

**DESIGN, DEVELOPMENT AND MEASUREMENT OF OPTICAL ACCESS NETWORKS**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. JAN AMBROŽ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. VLADIMÍR TEJKAL**

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Student:** Bc. Jan Ambrož

**ID:** 73100

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Návrh, výstavba a měření optických přístupových sítí**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Uveďte možné způsoby realizace fyzické vrstvy optických přístupových sítí. Prostudujte metody výstavby optických tras, včetně technologií pokládky a možností dalších typů vedení používaných v praxi. Zvažte výhody a nevýhody optických připojení FTTx. Porovnejte vlastnosti aktivních a pasivních sítí včetně standardů používaných v současnosti. Popište problematiku měření pasivních optických sítí. Provedte návrh optické přístupové sítě ve vybrané lokalitě s veškerými postupy používanými v praxi a výsledky zpracujte ve formě technické dokumentace. Připojení bude realizováno jako FTTH, optické vlákno přivedeno do domu. Vyberte vhodné technické řešení pro připojení optického kabelu až ke koncovému terminálu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GIRARD, A. FTTx PON Technology and Testing. EXFO Electro-Engineering Inc., Quebec City, Canada, 2005
- [2] KUCHAR, A., ŠVRČEK, M., WANCLÍK, E., Případová studie FTTx, Mikrokom, 2006
- [3] FILKA, M. Optoelectronics for telecommunications and informations. Texas: Inc., Publishers, 2009. ISBN 978-0-615-33185-0

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 26.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Tejkal

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Práce se zabývá možnostmi realizace optických přístupových sítí. V práci jsou představena optická připojení FTTx včetně jejich specifikací a rozdílů. V dokumentu je velká část věnována pasivní a aktivním optickým sítím. Tyto dva rozdílné technologické přístupy jsou podrobně objasněny a porovnávány. Jsou představena technická řešení trasy – tradiční možnosti pokládky pod zem či do vzduchu, ale také alternativní jako je mikrotrubičkování. Zmíněny jsou také aktivní síťové technologie. V práci je také obsažena problematika měření optických přístupových sítí. Jsou osvětleny důležité přenosové parametry a metody jejich měření. Celá práce směřuje k úplnému návrhu FTTH sítě podle standardu GEAPON. Při návrhu byly využity teoretické informace obsažené v jednotlivých kapitolách. Návrh je zpracován formou technické dokumentace v souladu s postupy užívanými v praxi, obsahuje výkresy, konkrétní technická řešení a podrobný cenový rozpočet. Správnost návrhu byla ověřena provedením útlumové bilance. V závěru práce jsou uvedeny výsledky simulace navrhované sítě v programu OptiSystem7.

## KLÍČOVÁ SLOVA

aktivní optická síť, měření, návrh, optická přístupová síť, pasivní optická síť, výstavba

## ABSTRACT

The work deals with the possibilities of realization of optical access networks. They are introduced to FTTx optical access, including their specifications and differences. The document was largely devoted to passive and active optical networks. These two different technological approaches are explained and compared. Are presented technical solutions of routes - traditional options for laying underground or into the air, but also as an alternative microtubing. Mentioned are also the active network technology. The work also included the issue of measurement of optical access networks. They are illuminated important transmission parameters and methods for their measurement. The whole work is directed to the full FTTH network design according to the standard GEAPON. In designing the use of theoretical information contained in each chapter. It does the form of technical documentation in accordance with the procedures used in practice, contains drawings, specific technical solutions and a detailed budget price. The design was verified by attenuation of balance. Finally there are the results of simulations of the proposed network in OptiSystem7.

## KEYWORDS

active optical network, measurement, design, optical access network, passive optical network, development

AMBROŽ, Jan *Návrh, výstavba a měření optických přístupových sítí*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2011. 71 s. Vedoucí práce byl Ing. Vladimír Tejkal

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Návrh, výstavba a měření optických přístupových sítí“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Tejkalovi za trpělivou pomoc  
a cenné rady při zpracování diplomové práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Optické přístupové sítě</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Pasivní a aktivní optické sítě</b>	<b>16</b>
3.1	Pasivní optická síť . . . . .	16
3.1.1	Architektura a prvky PON . . . . .	16
3.1.2	Základní princip PON . . . . .	18
3.1.3	Přidělování šířky pásma ve vzestupném směru . . . . .	18
3.1.4	Standardy PON . . . . .	20
3.1.5	Základní přenosové parametry PON . . . . .	21
3.1.6	Vlnový multiplex v PON . . . . .	22
3.2	Aktivní optická síť . . . . .	26
3.3	Nejvýznamnější rozdíly mezi pasivní a aktivní optickou sítí . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Výstavba optických přístupových sítí</b>	<b>28</b>
4.1	Technické řešení trasy . . . . .	28
4.1.1	Optická vlákna . . . . .	28
4.1.2	Optické kabely . . . . .	28
4.1.3	Zařazení kabelu v přístupové síti . . . . .	29
4.1.4	Umístění kabelu . . . . .	29
4.1.5	Spojování optických kabelů . . . . .	31
4.1.6	Ukončení optických kabelů . . . . .	32
4.1.7	Splitter . . . . .	32
4.2	Síťové technologie . . . . .	33
4.2.1	Technologie PON . . . . .	33
4.2.2	Technologie AON . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Měření přenosových parametrů PON</b>	<b>36</b>
5.1	Základní objasnění měřených parametrů . . . . .	36
5.2	Měřicí metody . . . . .	37
5.2.1	Metoda vložných ztrát . . . . .	37
5.2.2	Metoda měření ORL . . . . .	37
5.2.3	Měřidlo OLTS (Optical Loss Test Set) . . . . .	37
5.2.4	Metoda zpětného rozptylu . . . . .	37
5.2.5	Měření PON za provozu . . . . .	40

<b>6</b>	<b>Návrh optické přístupové sítě</b>	<b>41</b>
6.1	FTTH Olomouc – Chomoutov . . . . .	41
6.1.1	Popis trasy . . . . .	41
6.1.2	Technické řešení trasy . . . . .	43
6.1.3	Použité technologie . . . . .	46
6.1.4	Rozpočet . . . . .	49
6.2	Útlumová bilance . . . . .	50
<b>7</b>	<b>Simulace optické sítě</b>	<b>51</b>
7.1	Vytvoření modelu . . . . .	51
7.2	Výsledky simulace . . . . .	52
7.2.1	Měření výkonu . . . . .	52
7.2.2	Měření chybovosti . . . . .	53
7.3	Zhodnocení simulací . . . . .	57
<b>8</b>	<b>Závěr</b>	<b>58</b>
	<b>Literatura</b>	<b>60</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>66</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Schéma FTTCab, FTTN, FTTC a FTTB sítí [1, 3]	13
2.2	Schéma FTTO, FTTU a FTTH sítí [1, 3]	14
3.1	Optická přístupová síť [9]	16
3.2	Y-články ve FBT splitteru 1:4 [11]	17
3.3	Schéma funkce splitteru a TDM v PON a)down-stream b)up-stream [9]	19
3.4	Schéma statického přidělování šířky pásma [13]	19
3.5	Schéma dynamického přidělování šířky pásma [13]	20
3.6	Schéma funkce WDM-PON s pasivním rozbočovačem a vlnovými filtry [16]	23
3.7	Schéma funkce WDM-PON s AWG odbočnicí [16, 17]	24
3.8	Princip AWG odbočnice [17]	24
3.9	Schéma funkce WDM-PON s kaskádním rozložením [16]	25
3.10	Schéma AON [18]	26
5.1	Měření ze strany OLT	39
5.2	Měření ze strany ONU	39
6.1	Situační mapa	42
6.2	Přehledová situace	42
6.3	Polohopis	44
6.4	Schéma rozvodu mikrotrubiček	45
6.5	Schéma ukončení vláken na straně ONT	47
6.6	Schéma ukončení vláken na straně rozvaděčů	48
6.7	Trasa FTTH	50
7.1	Část modelu ODN 01	51
7.2	Časový průběh signálu - downstream a) Výstup zdroje OLT; b) Výstup splitteru ODN 01; c) Výstup splitteru ODN 02	54
7.3	Časový průběh signálu - upstream a) ODN 01 výstup ONT 08; b) ODN 02 výstup ONT 52; c) Výstup splitteru ODN 01; d) Výstup splitteru ODN 02	55
7.4	Diagram oka odečtený na přijímačích a) ODN 01 - ONT 31; b) ODN 02 - ONT 61; c) ODN 01 - OLT; d) ODN 02 - OLT	56

# SEZNAM TABULEK

2.1	Rozdíly mezi P2P a P2MP [6] . . . . .	15
3.1	Hodnoty útlumu splitteru v závislosti na počtu výstupů [12] . . . . .	18
3.2	Přenosové parametry PON sítí [9, 14, 15] . . . . .	22
4.1	Limitní hodnoty útlumu komponentů trasy PON podle ISO/IEC 11801 [24] . . . . .	33
4.2	Hodnoty parametrů EPON [5] . . . . .	34
5.1	Parametry OTDR [28] . . . . .	38
6.1	Útlum trasy FTTH . . . . .	50
7.1	Hodnoty parametrů simulace . . . . .	52
7.2	Výkonová úroveň v částech sítě . . . . .	53
7.3	Hodnoty útlumů tras . . . . .	53
7.4	Chybovost . . . . .	57

# 1 ÚVOD

Zvyšující se nároky koncových uživatelů na přenosovou rychlost způsobily „boom“ ve výstavbě optických přístupových sítí. Zavádění optického kabelu až do domácnosti se již hojně provádí i v menších městech a při budování nových obytných zón je téměř samozřejmostí. Optické vlákno, jakožto jediné přenosové médium umožňující připojení běžného občana rychlostí přes 100 Mbps na vzdálenost až 20 km, si rychle našlo své místo i v oblasti přístupových sítí.

Tento dokument pojednává o problematice optických přístupových sítí v celé jeho šíři. Cílem práce není věnovat pozornost pouze jedné dílčí části, ale snaží se o nastínění vazeb mezi jednotlivými tématy, tak aby čtenář získal ucelený pohled na věc. Pro omezený rozsah publikace není možné, aby byl všem detailům věnován patřičný prostor. Přesto jsou jednotlivé problémy zmíněny a čtenáři je tak ukázáno, kudy vedou cesty, kterými je možno se vydat a pokračovat ve studiu optických přístupových sítí.

Struktura práce je postavena tak, aby čtenáře přivedla od obecnější roviny k základním principům a postupně seznamovala se všemi aspekty, které je nutné znát při návrhu optické přístupové sítě. Cíle specifikované v zadání vytyčily skladbu dokumentu. Budou objasněny pojmy jako FTTH, se kterými se dnes v nabídkách provozatelů internetového, televizního a telefonního připojení setkává i laická veřejnost. Je zmíněno devět typů připojení označovaných jako FTTx a vysvětleny rozdíly mezi nimi. Jsou popsány i dvě základní architektury bod-bod a bod-více bodů, které jsou v závěru kapitoly porovnány.

Pasivním a aktivním přístupovým sítím – dvěma možným technologickým přístupům realizace sítě se zabývá celá kapitola. Větší pozornost je věnována pasivní optické síti, k jejímuž návrhu celá práce směřuje. Je představena její architektura, typy a standardy. Jsou objasněny jak nejzákladnější principy, tak i představeny sítě budoucnosti využívající vlnového dělení. Druhá část je věnována aktivní optické síti a ve třetí části dochází ke srovnání pasivních a aktivních sítí.

Důležitým bodem při návrhu optické přístupové sítě je vhodný výběr způsobu realizace přenosové trasy, ale i aktivních technologií. Jsou uvedeny metody a možnosti pokládky optických kabelů. Od tradičních způsobů pod zem či do vzduchu až po umístění do multikanálů. Jsou také představeny možnosti jejich spojování a alternativní varianty výstavby, jako např. mikrotrubičkování, které přináší řadu výhod.

Kapitola zabývající se měřením nejdříve krátce objasňuje přenosové parametry, které je nutné ověřovat. Jejím hlavním cílem je však představení metod, jakými je optická přístupová síť testována během a po realizaci výstavby. Kompletní diagnostika optické sítě je velice důležitá a může odhalit řadu nežádoucích jevů, které by

mohly významně ovlivnit přenos dat.

Bude představen návrh FTTH sítě. Návrh je zpracován formou technické dokumentace s využitím uvedené teorie a v souladu s postupy používanými v praxi. Projekt obsahuje konkrétní technická řešení, ukazuje, jakým způsobem by mohla být řešena výkresová dokumentace a nechybí ani podrobný cenový rozpočet.

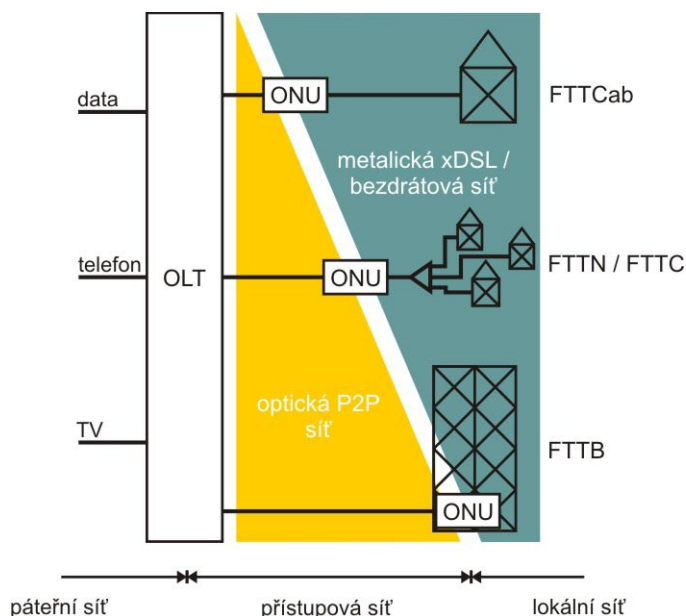
V závěru práce jsou uvedeny výsledky testů navržené sítě, které byly provedené v simulačním programu OptiSystem7.

## 2 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

FTTx (Fibre To The...) je obecné označení pro optické přístupové sítě, které zejména v závislosti na umístění opticko-elektrického převodníku (ONU/ONT – Optical Network Unit/Optical Network Terminal) a využívaných přenosových systémů přebírá další označení. V posledních letech vznikla celá řada označení sítí FTTx, z tohoto důvodu bych si je dovolil rozdělit do tří skupin. Přičemž sítě v jednotlivých skupinách se od sebe z pohledu využívaných technologií takřka neliší.

FTTEx (Fibre To The Exchange) je na rozhraní mezi transportní a přístupovou sítí. Optický přenos je ukončen v místě poslední ústředny. Dále je přenos dat nejčastěji realizován pomocí xDSL (x Digital Subscriber Line – digitální účastnická linka) po stávajícím metalickém vedení [1].

FTTCab (Fibre To The Cabinet), FTTN (Node/Neighborhood), FTTC (Curb) a FTTB (Building) je označení sítí, jejichž ONU je umístěna blíže účastníkovi tj. v terénu, v sousedství, u patníku před domem či v domě. Tyto hybridní sítě přivádí optické vlákno „na dohled“ uživateli, který k dalšímu přenosu či větvení využívá stávající metalické vedení (telefonní kabel nebo strukturovanou kabeláž). Rovněž na ně mohou navazovat např. bezdrátové sítě či rozvody kabelové televize [1, 2].

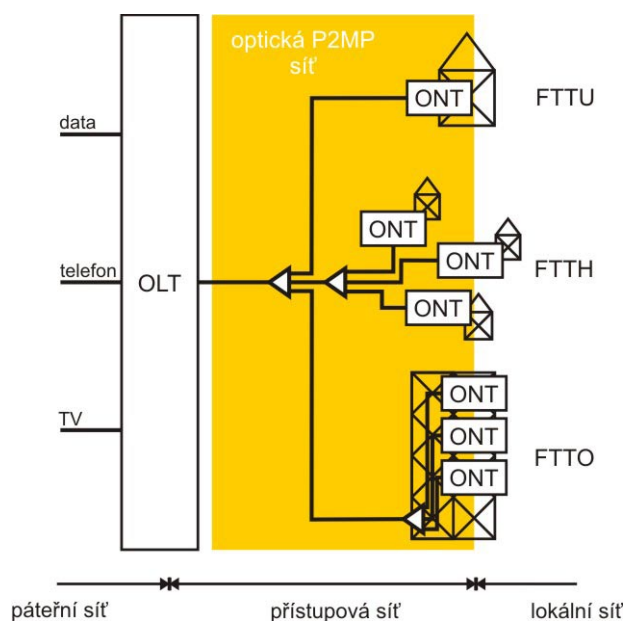


Obr. 2.1: Schéma FTTCab, FTTN, FTTC a FTTB sítí [1, 3]

Tyto sítě bývají nejčastěji realizovány jako sítě typu bod-bod (P2P – Point To Point) mezi optickou ústřednou OLT (Optical Line Terminal) a účastnickou jed-

notkou ONU. Spojení bod-bod je v optických přenosech možno realizovat dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití dvou vláken (SDM – Space Division Multiplex), pro každý směr jednoho. Druhou možností je využití vlnového duplexu na jednom vlákně (WDD – Wavelength Division Duplex), kdy pro každý směr přenosu použijeme jinou vlnovou délku. Pro směr k účastníkovi jsou určeny vlnové délky 1490 nm a 1550 nm, pro směr k ústředně 1310 nm [1, 2, 4].

Druhý způsob s jediným vláknem se může jevit jako levnější varianta, avšak do jisté míry omezuje možnost budoucího zvýšení přenosové kapacity sítě. Pokud budeme uvažovat o výstavbě sítě „na zelené louce“, pak je první případ výhodnější. Cena výstavby je srovnatelná, ale kapacita přenosu dvojnásobná. Při variantě se dvěma vlákny můžeme pro směr k i od uživatele využít plnou přenosovou kapacitu média a obecně se nám tak otevírají možnosti, jak s touto kapacitou naložit. Například pokud se po čase provozu sítě ukáže, že kapacita vymezená pro vztupný směr přenosu (up-stream) není plně využívána, je možno na vlákně určeném pro směr od uživatele přejít na druhou variantu s WDD a zvýšit tím rychlost sestupného směru (down-stream).



Obr. 2.2: Schéma FTTO, FTTU a FTTH sítí [1, 3]

FTTO (Fibre To The Office), FTTU (Unit/User) a FTTH (Home) jsou sítě, v nichž je optické vlákno přivedeno až k účastníkovi. Tyto sítě jsou dnes na vzestupu a díky nim řada společností nabízí svým zákazníkům produkty s marketingově-technickým označením Triple play. Přenosové parametry optické přístupové sítě umožňují současný přenos televizního vysílání v HDTV kvalitě, telefonní hovor a internetové připojení s rychlostí desítek Mbps. Dnes již nejsou výjimkou optické pří-

pojky s přenosovou rychlostí 100 Mbps až do domácnosti (např. poskytovatel Rio media) [1, 4, 5].

Všechny sítě s optickou bránou (ONT/ONU) umístěnou v interiéru je také možno označovat jako síť FTTP (Fibre To The Premises) – do prostoru [7]. Síť tohoto typu mohou být stejně jako předešlé realizovány jako síť bod-bod. Avšak pro tyto sítě, které zavádí optické vlákno až bezprostředně k jednotlivým účastníkům, kterých může být velké množství, je výhodnější využívat architekturu bod-více bodů (P2MP – Point To MultiPoint). V P2MP sítích dochází k větvení prostřednictvím aktivních či pasivních odbočnic, tyto sítě pak nazýváme pasivní či aktivní optické sítě a je jim věnována kapitola 3. Může nastat případ, kdy vlivem vysoké segmentace (rozdělení jednoho vlákna více účastníkům prostřednictvím časového multiplexu) nebo zvýšeného nároku uživatele nebude již přenosová kapacita média dostatečná, pak je řešením nasazení WDM systémů (Wavelength Division Multiplex). Tato možnost, kdy každý účastník má přidělenou jednu vlnovou délku, přináší velkou přenosovou rychlost P2P do sítí P2MP (viz 3.1.6).

Tab. 2.1: Rozdíly mezi P2P a P2MP [6]

Parametr	P2P (dvě vlákna)	P2MP
Počet vláken k uživateli	2	1
Směr provozu ve vlákne	jeden	oba
Využití šířky pásma	plné	částečné
Nutnost údržby	velká	malá
Aktivních prvků	více	méně
Pasivních prvků	méně	více
Výkon vysílačů	nižší	vyšší
Náklady	vlákno navíc	pasivní prvky
	aktivní prvky	
	údržba	

Čím blíže k účastníkovi je přivedena optická síť, tím je možno využívat větší šířku pásma, která je omezována každým metrem metalického vedení. Například dnes velmi rozšířený metalický kabel UTP Cat.6 s šířkou pásma 250 MHz, může být použit maximálně pro ethernetový přenos 10GBASE-T tj. 10Gbps a maximálně na vzdálenost 100 m [8], což by již dnes bylo v řadě případů omezující. Optická vlákna (mezinárodní doporučení ITU-T G.652 nebo G.657) používaná v sítích FTTx mají šířku pásma v desítkách Tbps v závislosti na použitém zařízení [6].

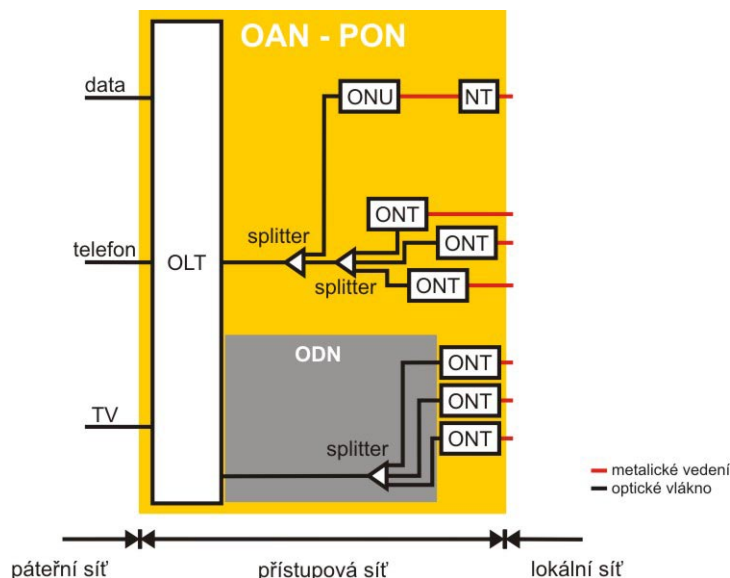
## 3 PASIVNÍ A AKTIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ

### 3.1 Pasivní optická síť

Pasivní optické sítě (PON – Passive Optical Network) se svou rozvětvenou stromovou topologií se stávají nejrozšířenější technologií při výstavbě optických P2MP sítí. PON díky svým technologiím umožňuje relativně levné přivedení optického vlákna až ke koncovému účastníkovi, a proto dnes zažíváme velký rozmach výstavby FTTx sítí (kap. 2).

#### 3.1.1 Architektura a prvky PON

Architektura PON je znázorněna na obrázku 3.1. Je z něj patrné, že lze PON využít pro všechny typy FTTx.



Obr. 3.1: Optická přístupová síť [9]

OAN – optická přístupová síť (Optical Access Network). Je označení pro všechna optická zařízení, umístěna stromovitě za OLT včetně, sloužící k přenosu optické informace.

ODN – optická distribuční síť (Optical Distribution Network). Je základním prvkem OAN. Jde o elementární větev sítě vycházející z OLT a ukončenou ONT/ONU. ODN je soubor všech optických vláken, splitterů, filtrů, konektorů, svárů a jiných pasivních optických prvků větve.



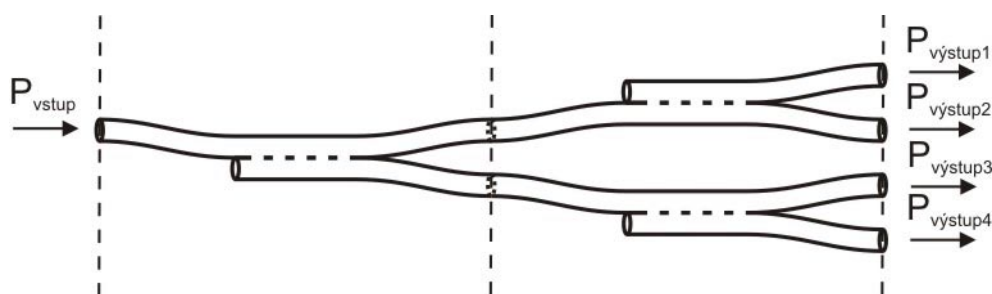
OLT – optické linkové zakončení. Leží na hranici mezi optickou přístupovou sítí a vnějším připojením k páteřní síti. Má zejména dvě funkce. První je konverze protokolů mezi sítěmi, což může zahrnovat i konverzi mezi různými přenosovými médii. Druhou je správa, dohled a řízení optických síťových zakončení (ONT) a jednotek (ONU).

ONT – optické síťové zakončení. Nejčastěji umístěné v prostorách koncového účastníka. Jeho funkcí je konverze mezi protokoly optické sítě a protokoly a formáty dat, jež umí zpracovat uživatelská zařízení (telefon, televize, síťová karta, ...). Takovým zařízením může být domácí optická brána např. [10].

ONU – optická síťová jednotka. Je nasazena v hybridních sítích, kde je za optickým vláknem zařazena metalická či bezdrátová síť. NT – síťové zakončení (Network Terminal) OAN pro připojení účastnické sítě např. xDSL modem.

Splitter – pasivní optický rozbočovač. V sestupném směru (down-stream) slouží k prostému rovnoměrnému rozdělení optického výkonu mezi všechny jeho výstupy. V opačném směru (up-stream) slučuje příchozí optické signály do jediného.

Tyto prosté funkce jsou realizovány pomocí Y-článků, vyrobených z velice krátkých vláken, které jsou kaskádovitě řazeny za sebou (FBT – Fused Biconic Taper) obr. 3.2 nebo pomocí rozbočovačů vyrobených planární technologií (PLC – Planar Lightwave Circuit) [6]. U FBT rozbočovačů může docházet k nežádoucímu nerovnoměrnému rozdělování výkonu mezi jeho výstupy.



Obr. 3.2: Y-články ve FBT splitteru 1:4 [11]

K výhodám splitteru patří nízká pořizovací cena, absence napájení, řízení a údržby. Lze s ním dosáhnout rozdělení signálu pro velké množství vláken, které se označuje jako rozbočovací poměr a udává se jako 1:N, kde N je počet výstupů a nabývá hodnot mocnin dvou. Dnes obvykle až 64, ale díky PLC i vyšší. Je také možno při dostatečném vstupním výkonu řadit více splitterů za sebou a tím ještě zvýšit počet konečných účastníků na jednom výstupu OLT. Díky této prosté metodě, ovšem

dochází ve splitteru k velkému útlumu. Který je možno stanovit pomocí vzorců 3.1, 3.2, 3.3.

$$a = a_D + a_Z \text{ [dB]}, \quad (3.1)$$

$$a_D = 10 \log(N) \text{ [dB]}, \quad (3.2)$$

$$a_Z = 10 \log \left( \frac{P_{VSTUP}}{\sum P_{VYSTUP}} \right) \text{ [dB]}, \quad (3.3)$$

kde  $a$  je celkový útlum splitteru,  $a_D$  útlum dělení,  $a_Z$  zbytkový útlum,  $P_{VSTUP}$  vstupní výkon,  $P_{VYSTUP}$  výstupní výkon [9].

Tab. 3.1: Hodnoty útlumu splitteru v závislosti na počtu výstupů [12]

Rozbočovací poměr	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Útlum rozbočovače [dB]	3,9	7,4	10,8	14,1	17,3	21,0	25,3

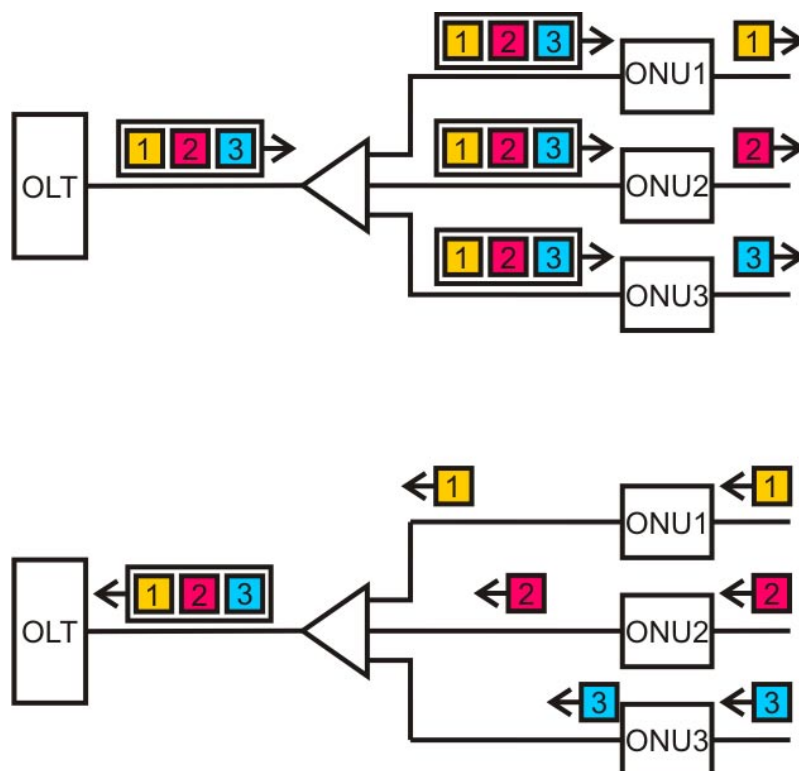
### 3.1.2 Základní princip PON

Základním a dnes nejpoužívanějším způsobem pro připojení více koncových jednotek je systém s časovým dělením (TDM – Time Division Multiplex) ve vzestupném směru (up-stream), kdy je použito tolik časových kanálů kolik je ONT/ONU připojených k jednomu portu OLT. OLT pak řídí vysílání jednotlivých ONT/ONU, tak aby nedocházelo ve splitterech ke kolizím způsobených špatnou synchronizací. V sestupném směru (down-stream) jsou všechny informace šířeny všesměrově a data pro konkrétního uživatele vybrána až v jednotce ONT/ONU. S využitím vlnového duplexu (popsán již v kap. 2) stačí zavést pouze tolik vláken kolik má síť koncových jednotek [9].

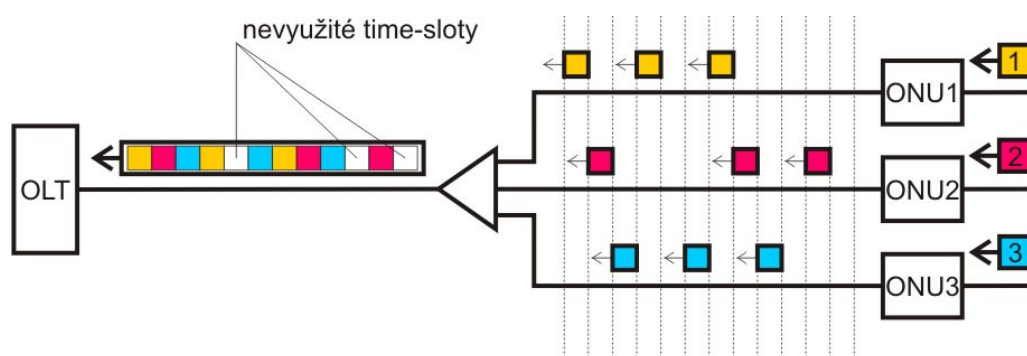
### 3.1.3 Přidělování šířky pásma ve vzestupném směru

#### Statické přidělování šířky pásma (SBA – Static Bandwidth Allocation)

První generace PON využívala statického přidělování šířky pásma, kdy měla každá koncová jednotka v systému TDM vyhrazený jeden časový kanál. Tento způsob, rozdělení celkové šířky pásma přenosového systému, je výhodný v případě, kdy všechny ONT/ONU plně využívají svého přiděleného kanálu (time-slot) např. VoIP nebo naopak v případě, kdy je využívání přenosu ve vzestupném směru velmi nízké. V případě, že by jeden z účastníků plně nevyužíval své šířky pásma a jinému jeho nedostačovala, není možné volné time-slots prvního zprostředkovat druhému [13].



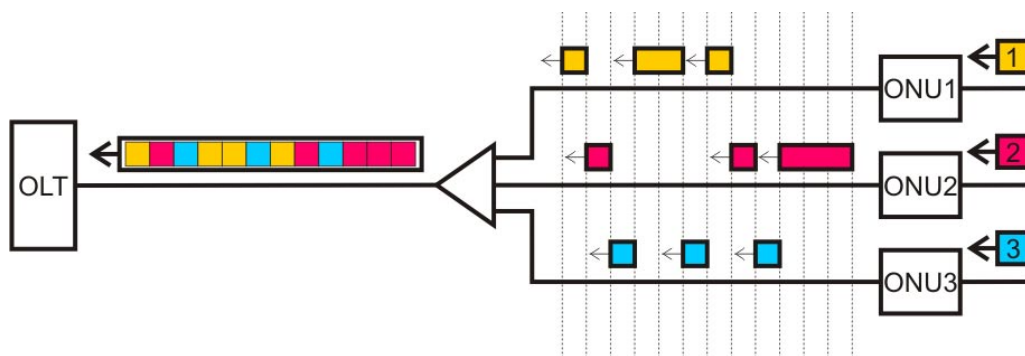
Obr. 3.3: Schéma funkce splitteru a TDM v PON a)down-stream b)up-stream [9]



Obr. 3.4: Schéma statického přidělování šířky pásma [13]

### Dynamické přidělování šířky pásma (DBA – Dynamic Bandwidth Allocation)

Dynamické přidělování šířky pásma zajišťuje, aby přenosová kapacita systému byla plně využita. Časové kanály jsou v OLT přidělovány jednotlivým koncovým jednotkám na základě přijatých žádostí, měření provozu kanálu nebo kombinaci těchto možností s ohledem na přidělenou prioritu služeb (SLA – Service Level Agreement). Dobrý DBA algoritmus rychle reaguje na změny potřeb účastníka a maximálně využívá šířku pásma [13].



Obr. 3.5: Schéma dynamického přidělování šířky pásma [13]

### 3.1.4 Standardy PON

Hlavním cílem standardů v PON je sjednocení přenosových protokolů vyšších vrstev v rámci konkrétních přístupových sítí. Na tvorbě těchto protokolů pracují nezávisle dvě organizace ITU-T (International Telecommunication Unit – sTandardization) a IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

#### APON/BPON

První standardy z dílny ITU-T s označením G.983.x, využívající ATM buněk. Pracující buď se symetrickým rozdělením přenosové rychlosti 155,52 Mbps nebo nesymetrickým s rychlostí 622,08 Mbps ve směru k účastníkovi. Přenosová rychlost je sdílena všemi uživateli, připojenými k jedné ONT/ONU. Využívá možnosti přenosu libovolného typu dat prostřednictvím ATM. Může být nasazen jak v síti využívající dvě vlákna, tak i v síti s WDD.

#### GPON

Je dalším vývojovým stupněm APON/BPON a dostal označení G.984. Tento standard podporuje vyšší přenosové rychlosti než jeho předchůdci a to až 2,488 Gbps. Dále umožňuje řízení provozu, administraci, údržbu, řízení kvality služeb.

#### EPON/GEAPON

Standardy 802.3ah navržené IEEE přináší do optických přístupových sítí logiku sítí Ethernet. Paketově orientovaný přenos umožňuje rychlost přenosu dat až 1,25 Gbps (GEAPON). Tyto standardy jsou především nasazován v P2P sítích, pro P2MP síť využívá přenosový protokol MPCP (Multipoint Control Protocol), který má dle požadované rychlosti a dosahu sítě několik variant. Ethernet standardy se uplatňují také v aktivních optických sítích.

## 10GEAPON

Následníkem EPON/GEAPON je standard 10GEAPON s označením 802.3av. Umožňuje symetrický přenos až 10,3125 Gbps nebo asymetrický s 1,25 Gbps ve vzestupném směru. Jeho přenos probíhá na jiných vlnových délkách než je tomu u EPON/GEAPON, což umožňuje jejich současný provoz. Tento standart je také kompatibilní sítěmi využívající WDM (kap. 3.1.6).

Standards obou organizací nejsou vzájemně kompatibilní. Jejich přenosové parametry jsou uvedeny v tabulce 3.2.

### 3.1.5 Základní přenosové parametry PON

Pro potřeby navazujících přenosových protokolů a vyšších vrstev komunikace jsou definovány na optickém spoji následující parametry [9]:

Přenosová rychlost – udává maximální přenosovou rychlost (v sestupném/vzestupném směru) jednoho koncového bodu.

Fyzický dosah sítě – udává maximální vzdálenost, kterou je síť prostřednictvím základních optických zařízení, schopna překlenout.

Logický dosah sítě – jde o teoretickou hodnotu, která udává maximální vzdálenost mezi OLT a ONU/ONT bez fyzických omezení. Parametr omezený jen definicí protokolů a funkcí vyšších vrstev.

Rozdílová vzdálenost koncových uživatelů – maximální vzdálenost mezi nejbližší a nejvzdálenější koncovou jednotkou ONU/ONT, připojených k jednomu výstupu OLT.

Rozbočovací poměr – udává maximální počet účastníků v síti.

Následující tabulka 3.2 udává hodnoty jednotlivých parametrů pro různé varianty PON. Varianty se od sebe liší použitým síťovým protokolem.

Tab. 3.2: Přenosové parametry PON sítí [9, 14, 15]

Síť	APON/BPON	GPON	EPON (typ 2)	10G EPON
Standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
Přenosová rychlost - downstream	155,52-622,08 Mbps	1,244 nebo 2,488 Gbps	1,25 Gbps	10,3125 Gbps
Přenosová rychlost - upstream	155,52-622,08 Mbps	1,244 nebo 2,488 Gbps	1,25 Gbps	10,3125 Gbps
Vlnová délka [nm]-downstream	1490±10	1490±10	1490±10	1577 -2/+3
Vlnová délka [nm]-upstream	1310±50	1310±50	1310±50	1270±10
Max. počet ONT/ONU	32	128	64	64
Logický/fyzický dosah sítě [km]	20/20	60/20	20/20	20/20
Rozdílová vzdálenost koncových uživatelů [km]		20	20	20

### 3.1.6 Vlnový multiplex v PON

Přenosová kapacita PON postavených čistě na TMD by mohla být již brzy vyčerpána, proto se začínají nasazovat WDM systémy, které nabízejí hned několik možností využití nových kanálů.

Princip vlnového dělení (WDM) je založen na přenosu více optických signálů různých vlnových délek v jednom vlákne. Standardizace ITU-T zavedla dvě přesně definované varianty systémů s vlnovým dělením. CWDM – hrubé vlnové dělení obsahuje 18 kanálů v rozmezí 1270 až 1610 nm, s odstupem nosných 20 nm a tolerancí  $\pm 6,5$  nm. DWDM – husté vlnové dělení v rozsahu 1270 až 1610 nm nabízí varianty s 32 až 160 nosnými v jednom vlákne, kdy je odstup mezi kanály v krajním případě jen 0,4 nm. DWDM již musí využívat chlazené zdroje a je tak v porovnání s CWDM mnohem dražší [16].

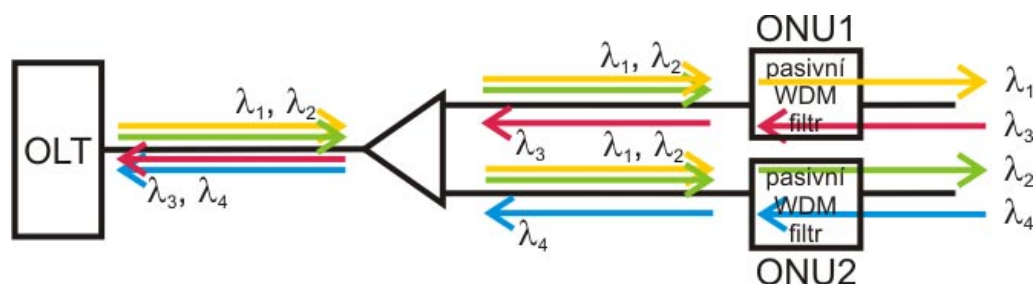
Pro využití WDM v PON byla navržena řada variant. Jsou mezi nimi tyto:

- S pasivními optickými rozbočovači a vlnovými filtry v jednotkách ONU/ONT
- S jednou vlnovou délkou určenou pro všesměrový download (broadcast) a zbylé pro upload jednotlivých ONU/ONT
- S jednou vlnovou délkou určenou pro upload od všech ONU/ONT a ostatní pro download konkrétních koncových bodů

- S pevně přiřazenými vlnovými délkami jednotlivým ONU/ONT pro upload i download
- S volitelnými vlnovými délkami pro ONU/ONT
- S kaskádním rozložením vlnových délek (transformace vlnových délek v rozbočovačích)

Dalšího rozvoje a širšího zájmu nad rámec teorií se dočkali tři níže uvedené způsoby:

### S pasivními optickými rozbočovači a vlnovými filtry v jednotkách ONU/ONT

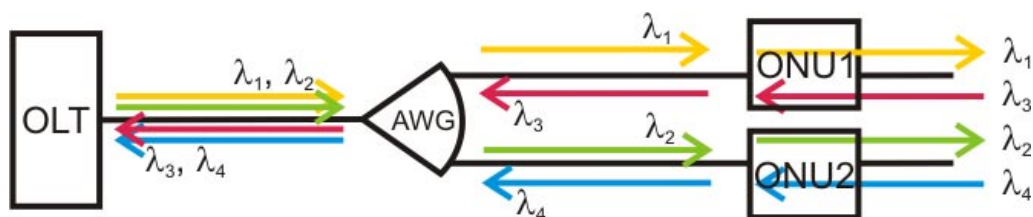


Obr. 3.6: Schéma funkce WDM-PON s pasivním rozbočovačem a vlnovými filtry [16]

Tato varianta např. ve standardu CWDM (18 vlnových délek) umožňuje připojení až 8 koncových jednotek. 8 vlnových délek ( $\lambda_1$ -  $\lambda_8$ ) je individuálně přiděleno každé ONU/ONT. Ve splitteru dojde (pouze) k rozdělení optického signálu, stejně jako v současných PON. Ke každé ONU/ONT je tedy přivedeno všech 8 kanálů určených pro download. ONT/ONU si pomocí pevně nastaveného pasivního filtru vybere jeden jí příslušející kanál. Upload je realizován prostřednictvím jiných 8 vlnových délek ( $\lambda_9$ -  $\lambda_{16}$ ). Každá koncová jednotka vysílá na své vlnové délce.

Takto vytvořená síť je souborem spojení bod-bod, kde každá ONU/ONT je s OLT spojena pomocí dvou WDM kanálů.

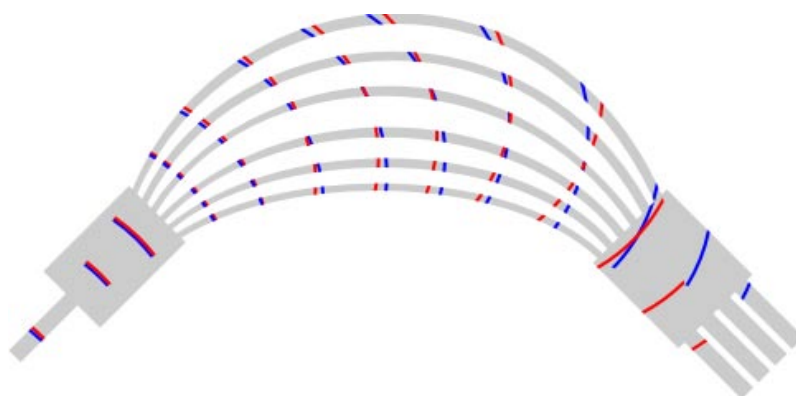
$\lambda_{17}$  může být použita pro všesměrové vysílání k zajištění komunikace se všemi koncovými jednotkami zároveň. Výhodou je jednoduchost, cena splitteru a možnost využití rozbočovačů již nainstalovaných v současných PON. Stejně jako v současných PON, i zde musíme řešit nevýhodu všesměrového šíření download-u, kdy se informační toky jednotlivých účastníků nesou celou sítí až k jednotce ONU/ONT, použitím šifrování [16].



Obr. 3.7: Schéma funkce WDM-PON s AWG odbočnicí [16, 17]

### S pevně přiřazenými vlnovými délkami jednotlivým ONU/ONT pro upload i download

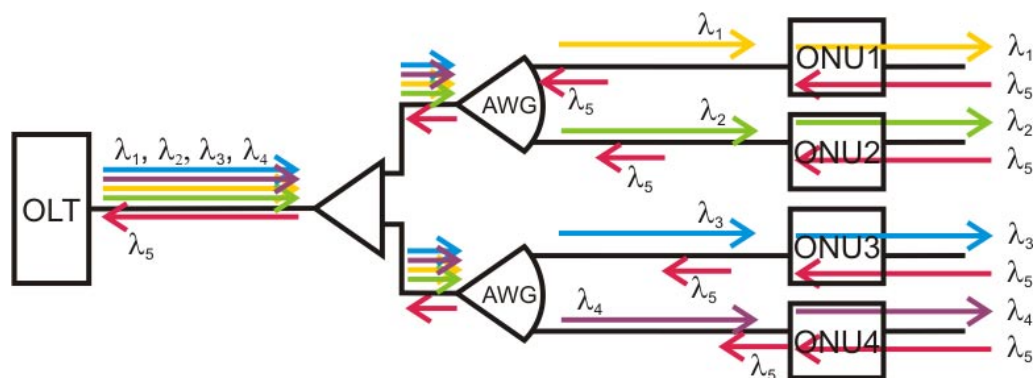
Tento způsob se od prvního liší v tom, že nevyužívá klasického splitteru, ale AWG (Arrayed Waveguide Grating) mřížku, která umožňuje separaci jednotlivých vlnových délek do samostatných optických vláken na základě difrakce. Její princip je naznačen na obrázku. K ONT/ONU již přichází konkrétní vlnová délka a není již potřeba optický signál filtrovat. Ve směru upload-u je využito stejného principu jako v první variantě.



Obr. 3.8: Princip AWG odbočnice [17]

Výhoda této varianty je snížení útlumu optické trasy nahrazením splitteru AWG odbočnicí, s typickou hodnotou útlumu kolem 5 dB nezávisle na počtu a hodnotách vlnových délek. Odstranění vlnových filtrů, také zvyšuje výkon příchozího světelného signálu. Jednoduchým rozdělením jednotlivých vlnových délek již v rozbočovači, je zamezeno všesměrovému šíření všech signálových toků a tím je zajištěna větší ochrana přenášených dat [16].





Obr. 3.9: Schéma funkce WDM-PON s kaskádním rozložením [16]

### S kaskádní rozložením vlnových délek (transformace vlnových délek v rozbočovačích)

Třetí možností jak využít WDM v PON je kaskádní zapojení splitterů a AWG odbočnic za sebou. V této variantě je za každý výstup optické rozbočnice zařazena AWG odbočnice nebo jejich kaskádní (stromové) uspořádání. Kombinace více AWG mřížek vede k větší přesnosti při vydělování jednotlivých vlnových délek což je nezbytné pro nasazení DWDM systémů. Každá koncová jednotka má tak svou vlnovou délku pro sestupný směr a k up-load-u je určen jeden sdílený (TDM) kanál.

Nevýhodou těchto sítí je nemožnost současného připojení dvou koncových jednotek ONT/ONU na stejnou vlnovou délku, což nedovoluje plné využití přenosové kapacity. Není zde možné, při nevyužívání kanálu, tento zprostředkovat jinému účastníkovi [16].

### Hybridní PON

Poslední variantu lze modifikovat na hybridní pasivní optickou síť, která by využívala jak časového tak vlnového dělení (WDM-TDMA PON). Tyto sítě umožňují připojení N-krát více účastníků než PON využívající pouze časové nebo pouze vlnové dělení. Například síť se splitterem 1:16 a CWDM dělením umožňuje připojení až 128 (16 x 8) ONT/ONU. Splitter rozdělí síť na 16 větví, kde každá větev pracuje ve své 1/16 periody. V každé větvi je zařazena AWG odbočnice, která přidělí 16 vlnových délek CWDM prostřednictvím vlnového duplexu osmi ONT/ONU.

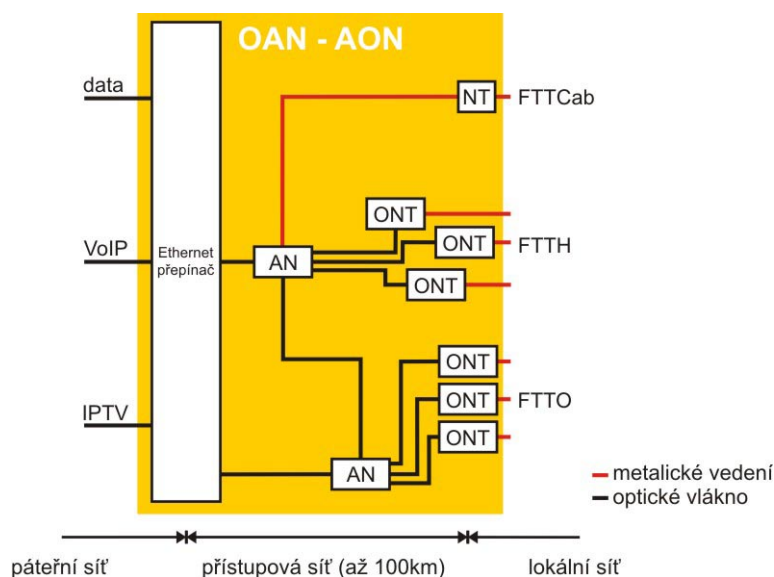
Tento způsob v kombinaci s laditelnými optickými filtry a přeladitelnými zdroji zařazenými v koncových jednotkách ONT/ONU umožňuje vytvoření univerzálního síťového plánu optických kanálů. V takové síti by bylo možné rozdělovat přenosovou kapacitu sítě podle požadavků jednotlivých účastníků. Tento mechanismus dynamického přidělování kombinace vlnového a časového kanálu se označuje jako DWB/DBA

(Dynamic Wavelength Assignment/Dynamic Band Assignment). DWB/DBA zajišťuje OLT, efektivně podle potřeb účastníků.

Nasazení těchto WDM-TDMA pasivních sítí bude značně závislé na dostupnosti laditelných optických zdrojů pro koncové ONT/ONU jednotky [16].

## 3.2 Aktivní optická síť

Aktivní optické sítě na rozdíl od pasivních využívají i aktivních síťových prvků. Spoje typu bod-bod jsou většinou realizováni jako aktivní. AON (Active Optical Network) jsou nejčastěji nasazovány tam, kde jsou vysoké požadavky na šířku páska nebo kde by byla vzdálenosti mezi OLT a ONT/ONU větší než je fyzický dosah PON (tab. 3.2). V případě aktivních sítí je optické linkové zakončení (OLT) nahrazeno Ethernet „hraničním“ přepínačem. Funkce OLT jsou rozděleny mezi přepínač a přístupový bod (AN – Access Node), který využívá prostředků Ethernet sítě ke směrování či přepínání provozu sítě podle potřeb účastníků. Síťové komponenty vytváří spoje bod-bod. AON umožňují vzdálenou správu jednotlivých síťových prvků a tím plnou kontrolu sítě, tak jak to známe z metalických Ethernet sítí. Schéma sítě je znázorněno na obrázku 3.10 [4, 18].



Obr. 3.10: Schéma AON [18]

### 3.3 Nejvýznamnější rozdíly mezi pasivní a aktivní optickou sítí

AON díky absenci splitteru nemusí a nevyužívá TDM jako PON, přenosová kapacita je rozdělována mezi koncové účastníky na základě jejich potřeb a požadavků. Přidělování šířky pásma v AON bez omezení time-sloty je daleko flexibilnější. I v PON bez zařazeného splitteru je maximální šířka pásma limitována na normami danou celkovou kapacitu výstupního portu OLT (2,5 Gbps). Maximální šířka pásma u AON je limitována pouze technologickými možnostmi a její zvyšování je možné výměnnou komponentů, která je díky modulární struktuře snadná.

V PON v případě poruchy/poškození rozbočovače je postiženo velké množství účastníků. V případě poruchy účastnické jednotky/terminálu je u PON ze strany OLT nemožné identifikovat, která ONT/ONU ve stromu je poškozená. Aktivní P2P síť umožňuje přesnou diagnostiku všech účastníků. Připojení účastníků do AON je možno zálohovat, díky možnosti využití i jiných síťových topologií než jen stromové, např. zapojení do kruhu. Bezpečnostní rizika všesměrového šíření v sestupném směru PON jsou v případě AON bezpředmětná. V oblasti bezpečnosti a kvality služeb má PON nad AON jedinou výhodu a tou je, že v případě fyzického přerušení vedení mezi OLT a rozbočovačem si bude oprava obnášet svaření pouze jediného vlákna. Při přerušení mezi přepínačem a AN v AON by si oprava vyžadovala svařování stovek vláken.

Z ekonomické stránky je vybudování aktivní sítě mnohem dražší než pasivní. Vysoká cena je především způsobena cenou hraničního Ethernet přepínače, který musí obsahovat tolik zdrojů - laserů kolik je účastníků sítě (u PON jediný až na 64 účastníků), s tím jsou spojeny i požadavky na velikost prostoru umístění přepínače. Další zvýšení ceny výstavby je dáno použitím tolika optických vláken, kolik je uživatelů sítě. AON má také daleko vyšší provozní cenu, která se skládá z položek na napájení všech aktivních prvků a nutnosti údržby těchto prvků. S nižší cenou se v aktivních sítích oproti pasivním setkáme pouze u účastnické jednotky. Tou je v AON jednoduchý levný Ethernet média konvertor. ONT/ONU v PON nejsou univerzální a standardizovány [18].

Je patrné, že většina výhod aktivních sítí vyplývá z využití spojení bod-bod. PON naproti tomu těží v několika oblastech ze své jednoduchosti.

## 4 VÝSTAVBA OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

Při realizaci OAN je nutné pečlivě zvážit řadu fyzikálních (vzdálenost prvků sítě, možnosti umístění) a síťových (topologie, množství účastníků) faktorů ovlivňujících výběr nasazených technologií. Pro snazší orientaci rozdělíme problematiku na dvě skupiny. První se věnuje technickému řešení trasy síťových spojů, zejména kabely, metodami jejich pokládky, ukončení apod.. Druhá část se zabývá používanými technologiemi–aktivními prvky sítě.

### 4.1 Technické řešení trasy

U pasivních sítí se jedná o nejnákladnější část, a proto jí v této kapitole bude věnována větší pozornost.

#### 4.1.1 Optická vlákna

Z pohledu přístupových sítí je pro nás zbytečné zabývat se vlákny speciálně navržených pro kompenzaci disperzí. Vliv disperzních jevů na přenos je u přístupových sítí zanedbatelný. V AON našli své místo především dva typy jednovidových vláken, ITU (International Telecommunication Unit) je označuje jako G.652 a G.657.

Vlákno G.652 je konvenční jednovidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu, s nízkou hodnotou útlumu ve všech přenosových pásmech. Maximální hodnota útlumu dle ITU-T je 0,5 dB/km [5].

Geometrické a přenosové vlastnosti typu G.657 jsou totožné s G.652, jeho mechanické vlastnosti jsou však upraveny pro potřeby přístupových sítí. Konstrukce vlákna umožňuje makroohyby s minimálním poloměrem 10 mm s útlumem  $< 0,75$  dB. Což umožňuje zejména v interiérech instalaci podél rohů a koutů. Navíc toto vlákno ve specifikaci A je možno svařovat s vlákny G.652.C a D [19].

#### 4.1.2 Optické kabely

Existuje celá řada optických kabelů, které se liší zejména počtem a typem obsažených vláken, mechanickými vlastnostmi (ochrany, pevnost v tahu, atd.) a vlastní konstrukcí (materiálové složení, rozložení vláken v kabelu, ...) [20]. Výběr vlákna je vždy nutné provádět citlivě podle konkrétní aplikace.

### 4.1.3 Zařazení kabelu v přístupové síti

1. mezi OLT a optickým děličem
2. mezi děličem a optickým rozvaděčem
3. mezi rozvaděčem a ONT/ONU

V závislosti na vzdálenosti mezi krajními body, vybíráme vhodné délky kabelů tak, aby se na trase nacházelo co nejméně svárů/spojů. Podle počtu koncových bodů části sítě a nasazené technologii volíme vhodný počet vláken v kabelu [6].

### 4.1.4 Umístění kabelu

Mezi faktory ovlivňující umístění patří: náklady na montáž, stavební normy, estetika, právo (povolení/souhlasy zúčastněných), významným faktorem je také, zda je síť budována „na zelené louce“ nebo ve stávající zástavbě [6]. Možnosti umístění jsou:

#### Pod zem

Umístění kabelů, k tomu určených, přímo pod zem (do nezámrzné hloubky min. 60 cm) v kontaktu s půdou. Tento způsob je spjat s vysokými náklady na výkopové práce.

Alternativou ke klasickým podzemním kabelům může být metoda MCS (Micro Cabling System) firmy Siemens, kdy jsou při variantě MCS-Road kabely o vnějším průměru 7 nebo 9,6 mm ukládány do vozovek či chodníků. Tyto kabely jsou tvořeny měděnou trubičkou s 2, 24, 36, 48, 60 nebo 120 barevně rozlišenými vlákny chráněných polyetylenovým pláštěm.

Mikrokabel je při instalaci pokládán do vyfrézované drážky hluboké 60 až 120 mm. Vložený kabel se utěsní a drážka se vyplní vhodnou zalévací hmotou [4].

#### Do kabelovodu (multikanálu)

Kabelovody jsou trubky v různých provedeních, do kterých je po zavedení HDPE (High Density PolyEthylene) trubky možno zavádět optické kabely, bez dalších stavebních úprav terénu. Této varianty se hojně využívá v městské zástavbě, kdy by bylo velice nevýhodné zasahovat do komunikací, při pokládce každého dalšího kabelu [4]. Multikanály firmy SITEL obsahují 4, 6 nebo 9 komor, do kterých je možné ukládat všechny typy kabelů. Kabelovod je sestaven z mnoha částí stavebnicovým způsobem. Jeho rozměry jsou cca 370 x 370 mm u devíti komorové varianty [21]. Tato varianta má vyšší počáteční náklady než prostá pokládka pod zem, avšak při každém jednoduchém přidávání či vyjímání kabelů se vložené finance vrací. Mezi

další výhody patří redukce na samostatné trubky, odolnost či vysoká koncentrace kabelů v malém prostoru [4].

## **Do vzduchu**

Kabel je veden vzduchem mezi sloupy. Kabely pro tento typ instalace musí obsahovat ocelový tažný prvek nebo jsou kabely kotveny k tomu určeným nosným drátům. Tato možnost umístění je velice laciná, avšak vedení je vystavováno nejnáročnějším podmínkám [6].

## **Jinam**

Kabeláž je možné, za dodržení specifických podmínek, uložit do okapů, kanalizací (MCS-Drain – obdoba MCS-Road viz výše), plynovodů či pod vodu [4, 6].

## **Mikrotrubičkování**

Zajímavou alternativou výše zmíněných možností je tzv. mikrotrubičkování. Jedná se o technologii pokládky ochranných HDPE trubek o průměru 40/33 mm, popř. 50/40,8 mm, které buď obsahují prázdné mikrotrubičky nebo jsou do nich mikrotrubičkové svazky zafukovány později. Do mikrotrubiček jsou poté, podle potřeby zafukovány speciální optické mikrokabely.

Kapacitu jedné ochranné HDPE trubky lze rozvrhnout následujícími způsoby:

- 5 x mikrotrubička 10/8 mm á 72 vláken,
- 3 x mikrotrubička 10/8 mm á 72 vláken + 4 x mikrotrubička 7/5,5 mm á 12 vláken,
- klasický optický kabel + 2 nebo 3 mikrotrubičky

Největší výhodou celé technologie je možnost jednoduché dodatečné konfigurace a postupného růstu sítě v případě potřeby, na základě jednoduchého vydělování jednotlivých mikrotrubiček pomocí Y a T konektorů z ochranné trubky a možnosti připojování nových. Samotná vlákna v mikrokabelu jsou do mikrotrubiček zafukována až po přípravě celé trasy a nehrozí tak jejich poškození. Mikrotrubičky jedné HDPE trubky může vlastnit více subjektů, které s nimi mohou volně nakládat a provozovat tak například zcela nezávislé sítě [22].

V interiérech se využívá obdobných postupů jako u metalické strukturované kabeláže.

U všech výše uvedených způsobů realizace je nutné brát v úvahu specifické vlastnosti prostředí a přizpůsobit mu zejména volbu typu zaváděného kabelu, tak aby

byly dodrženy provozní podmínky pro zachování přenosových parametrů vláken. Při výběru kabeláže je nutné brát v úvahu fyzikální vlastnosti prostředí, jako jsou například teplota a vlhkost, možnosti mechanického poškození kabelu vlivem sesuvu půdy, zemětřesení a další, také je třeba zvážit vnější vlivy jako možný vandalismus, autodopravu či poškození živočichy [4]. Při vlastní pokládce trasy je nutné dbát na to, aby vlivem neodborné manipulace s kabelem nevznikly nadměrné příčné ani podélné síly, které by mohly způsobit mikroohyby a mikrotrhliny, které vedou ke zhoršování přenosových parametrů a v krajním případě ke zlomení vlákna. Při instalaci zejména slabších kabelů s menším počtem vláken (rozvody v interiérech) je také nutné dodržovat minimální poloměr ohybu, aby nevznikaly makroohyby vedoucí ke ztrátám optického výkonu ve vlákne [23].

#### **4.1.5 Spojování optických kabelů**

I přesto, že se dnes vyrábějí kabely dlouhé až 10 km, je skoro vždy při realizaci optické přístupové sítě nutné optické kabely spojovat. Při spojování optických kabelů se téměř výhradně využívá nerozebíratelných spojů [4].

##### **Tavné svařování**

Jedná se o poloautomatický proces, během něhož obsluha připraví vlákna ke svaření a vloží je do svářečky. Svářečka poté, podle zadaných či automaticky získaných parametrů o vlákne, sama provede očištění konců vláken, přesné nastavení polohy svařovaných vláken, svaření a vyhodnocení parametrů hotového sváru. Po provedení sváru je nutné obnovit primární a sekundární ochranu vlákna a zajistit svár před mechanickým poškozením [4].

##### **Mechanické spoje**

Tato metoda využívá mechanické části, pomocí nichž jsou optická vlákna spojena. Tyto součásti pracují na principu V drážek, tunelů mezi válečky a podobně, které jsou uloženy ve spojovacím členu. Pro snížení útlumu, který vzniká mezi konci vláken, se používají speciální gely či lepidla.

Sváry i mechanické spoje vláken optického kabelu musí být uloženy v optické spojce. Spojky umožňují bezpečné uložení spoje vláken, aby nemohlo dojít k jejich mechanickému poškození. Ve spojce je také uložena dostatečná rezerva vlákna pro případ další manipulace. Optická spojka zajišťuje kontinuitu mezi pláští spojovaných kabelů.

### 4.1.6 Ukončení optických kabelů

K ukončení kabelů dochází obvykle v optických rozvaděcích/optické vaně. Zde je kabel rozvlákněn a jednotlivá optická vlákna opatřena konektory. Konektory jsou připojeny zezadu k čelnímu panelu rozvaděče. Opatření konce vlákna konektorem se provádí dvěma způsoby.

#### Konektorování

Konec vlákna je rozšířen o tzv. ferulu, společně s ní je broušen a leštěn. Na závěr je vlákno osazeno konektorem požadovaného typu. Tento způsob je náročný a vlastnosti konektorů nedosahují kvalit konektorů osazených průmyslově.

#### Přivaření vlákna typu pigtail

Tzv. pigtail je vlákno délky 1-5 metrů, které je na jednom konci opatřeno konektorem již při výrobě a druhý konec je určen k přivaření k přivedenému vláknu. Jelikož těchto svárů bývá v rozvaděči větší množství, slouží k jejich bezpečnému uložení optické kazety, kterou jsou součástí rozvaděče nebo je pro ně v rozvaděči vyhrazeno místo. Tato varianta ukončení kabelů je dnes využita téměř při všech instalacích [4].

#### Patchcord

Patchcord, někdy též označovaný jako modul, je vlákno délky 1-10 m opatřené konektory na obou svých koncích. Zejména se využívá pro propojení rozvaděče se síťovou technologií.

### 4.1.7 Splitter

Splitter je prvek sítě, který lze považovat za část přenosové trasy. Jeho využití a vlastnosti byly zmíněny v kap. 3.1.1. Bývá společně s rozvaděčem přivedených kabelů umístěn ve skříni či venkovním sloupku. Splittery se vyrábějí buď s volnými přírodními vlákny, na něž jsou přivařeny konce příchozích vláken, nebo jsou opatřeny konektory. Výhodou splitterů s konektory je snadné odpojení přírodního vlákna při měření či potřebě jiné manipulace.

Po ukončení montáže celé trasy je nutné otestovat její přenosové parametry měřením (viz 5).



Tab. 4.1: Limitní hodnoty útlumu komponentů trasy PON podle ISO/IEC 11801 [24]

Komponent	Vlnová délka [nm]	Útlum [dB/km, dB]
Vlákno SM – venkovní kabel	1310	0,50
	1550	0,50
Vlákno SM – vnitřní kabel	1310	1,00
	1550	1,00
Rozvaděč (2 konektory)		0,75
Svár		0,30

## 4.2 Síťové technologie

Zajišťují chod sítě či připojení koncových účastníků. Lze je rozdělit do dvou skupin podle toho zda jsou určeny pro pasivní či aktivní síť.

### 4.2.1 Technologie PON

Funkce těchto zařízení již byla zmíněna v kapitole 3.1.1.

#### OLT

Klíčový prvek každé PON. Základním parametrem každého OLT je standard provozované sítě (EPON, GPON, 10GEPON, ...), tímto je dána celá řada dalších vlastností jako podporované přenosové rychlosti, vlnové délky atd.. Dalšími vlastnostmi pak jsou maximální počet účastníků na jednom PON výstupu, šifrovací kód, možnosti monitoringu sítě, úroveň výstupního výkonu, citlivost přijímače, ... Terminál obvykle obsahuje jeden či více portů pro připojení ODN, několik portů pro připojení k páteřní síti či přepínači, a metalické ethernet porty pro připojení do sítě a správu terminálu. Výstupy je u některých OLT nutné dodatečně osadit SFP (Small Form-factor Pluggable) transceivery což jsou velmi malá zařízení obsahující v sobě coupler, vysílač i přijímač optického signálu.

#### ONT/ONU

Jednotky koncových účastníků mají port pro připojení k optické síti, několik ethernet portů pro připojení počítače nebo IP telefonu, mohou obsahovat FXS VoIP port, port pro připojení kabelové televize nebo wifi anténu. Důležitými parametry jsou stejně jako u OLT provozní standard, výkon generátoru a citlivost detektoru.

Některé přenosové parametry přístupových sítí byli zmíněny v tab. 3.2, standardy však kladou požadavky i na hodnoty jejich prvků. V následující tabulce 4.2 jsou uvedeny některé dalších hodnoty parametrů PON se splitterem 1:32 dle EPON (IEEE 802.3ah).

Tab. 4.2: Hodnoty parametrů EPON [5]

Parametr	[dB, dBm]
Celkový útlum trasy	23,5 D; 24,0 U
Max. výkon vysílače OLT	7,0
Min. výkon vysílače OLT	2,0
Max. výkon vysílače ONT/ONU	4,0
Min. výkon vysílače ONT/ONU	−1,0
Min. citlivost přijímače OLT	−24,0
Min. citlivost přijímače ONT/ONU	−27,0

\* D–download; U–upload

## 4.2.2 Technologie AON

Prvky aktivních optických sítí pracují na shodných principech jako prvky sítí metalických. Optický signál je na jejich vstupech převeden na elektrický a s daty je dále nakládáno podle používaného standardu a vrstvy ISO modelu, na které konkrétní zařízení pracuje.

### Optický přepínač

Obdobně jako přepínače metalických sítí na základě informací (adres) získaných z rámce přenosového protokolu (ATM rámce – GPON, Ethernet rámce – EPON) přepíná spojení mezi svými vstupy a výstupy.

### Optický směrovač

Pro směrování datových toků (v tomto případě paketů) využívá síťové adresy. Jelikož směrovač jde hlouběji do datové struktury přenášených informací bývá často jeho součástí firewall.

### Zesilovač

Zesilovač optického signálu slouží k prostému zvýšení výkonu přenášeného signálu. Zesilovač zesílí celý signál včetně šumu.

## **Opakovač**

Opakovače slouží ke kompletní regeneraci signálu, tj. zvyšují výkon signálu, ale také navrací signálovým prvkům (dvoustavový signál) jejich původní tvar.

Bližší zkoumání vlastností aktivních prvků by bylo nad rámec této práce.

## 5 MĚŘENÍ PŘENOSOVÝCH PARAMETRŮ PON

K ověření přenosových parametrů pasivních optických sítí přistupujeme během výstavby jednotlivých částí a k celkové diagnostice bezprostředně po jejím vybudování. Měřením se ověřuje kontinuita, hodnoty vložného útlumu jak celé trasy, tak i jednotlivých komponent, hodnota útlumu odrazu, odrazivosti a optická délka. Tyto parametry musí, dle využívaných technologií, splňovat limitní hodnoty doporučení ITU-T. Vzdálenosti a přenosové rychlosti u přístupových sítí nejsou natolik velké, aby hodnoty disperzí ovlivnily optický signál, proto se v případě OAN jejich měřením nezabýváme. Při měření v PON musíme respektovat její specifiky [23, 25, 26].

### 5.1 Základní objasnění měřených parametrů

Útlum – vyjadřuje úbytek energie. Je definován jako poměr mezi vstupním a výstupním výkonem. V případě celé trasy se označuje jako vložný útlum (IL – Insertion Loss). Je dán vztahem 5.1 a jeho jednotkou je decibel (dB) [25].

$$a = 10 \log \left( \frac{P_{VSTUP}}{P_{VYSTUP}} \right) \text{ [dB] [27].} \quad (5.1)$$

Útlum odrazu, odrazivost – parametry vyjadřující odrazy na optické trase. Odrazivost (Reflektance) se využívá pro vyhodnocení odrazu od nehomogenity či součástky a je dána poměrem odraženého a přijatého výkonu 5.2. Útlum odrazu (ORL - Optical Return Loss) udává poměr přijatého výkonu ku celkovému zpětnému odrazu trasy tzn. součet všech odrazů a zpětného rozptylu vlákna 5.3. Výsledkem je kladné číslo, které čím je vyšší, tím je trasa z pohledu ORL kvalitnější - více tlumí nežádoucí zpětné odrazy [6].

$$Reflektance = 10 \log \left( \frac{P_{ODRAZ}}{P_{PRIJAT}} \right) \text{ [dB] [6],} \quad (5.2)$$

$$ORL = 10 \log \left( \frac{P_{PRIJAT}}{P_{CELK\_ODRAZ}} \right) \text{ [dB] [6],} \quad (5.3)$$

kde  $P_{PRIJAT}$  je výkon přijatého světla,  $P_{ODRAZ}$  výkon odražený od nehomogenity a  $P_{CELK\_ODRAZ}$  celkový odražený výkon trasy

Optická délka – je dráha, kterou by světlo urazilo ve vakuu za stejnou dobu jako je doba šíření.

## 5.2 Měřicí metody

Měření všech parametrů musí být provedeno na všech větvích PON a to z obou konců, jelikož přenos dat ve vlákne je obousměrný. Jednotlivé přenosové parametry lze měřit pomocí nejrůznějších metod, které jsou více či méně vhodné, přesné a vyžadují zařízení různých cenových kategorií. Existují zařízení, která dokážou měřit i více parametrů současně. Nejběžnějším metodám se budeme blíže věnovat.

### 5.2.1 Metoda vložných ztrát

Tato metoda označovaná též jako přímá (transmisní) slouží k určení celkového útlumu trasy a ověření kontinuity. Na jeden konec trasy je připojen zdroj optického signálu se známým výkonem – z pohledu trasy  $P_{VSTUP}$ . Na druhý konec vlákna je zařazen měřič optického výkonu detekující výstupní výkon –  $P_{VYSTUP}$ . Celkový útlum trasy je stanoven pomocí vzorce 5.1. Tento postup je nutné provést z obou stran trasy, tedy zdroj a detektor vyměnit, na vlnových délkách budoucího provozu (1310, 1490 a 1550 nm) [23].

### 5.2.2 Metoda měření ORL

Útlum odrazu se měří pomocí ORL metru. ORL metr je zařízení obsahující generátor i detektor optického signálu a optický dělič, který umožňuje současně připojení generátoru i detektoru k jednomu konci vlákna. Přístroj obsahuje jednotku, která pomocí vztahu 5.3 vypočítá útlum odrazu vlákna a zobrazí ho na displeji [6].

### 5.2.3 Měřidlo OLTS (Optical Loss Test Set)

Toto zařízení spojuje obě výše uvedené metody. Dva tyto přístroje, obsahující zdroj i měřič výkonu, zapojené na koncích trasy, umožňují měření přímou metodou z obou stran, bez nutnosti prohození jako u metody vložných ztrát. Díky své konstrukci umožňuje OLTS měření ORL a také optické délky trasy [25].

### 5.2.4 Metoda zpětného rozptylu

Metoda zpětného rozptylu, označovaná jako OTDR (Optical Time-Domain Reflectometry), využívá odrazů části optického výkonu, při průchodu trasou, zpět.

OTDR využívá dvou typů odrazů. První je Rayleighův rozptyl, kdy dochází k odrazu od nehomogenit menších jako je vlnová délka světelného signálu, díky němu můžeme sledovat postupnou ztrátu energie způsobenou útlumem vlákna. Druhý je Fresnelův odraz, ke kterému dochází při dopadu světla na rozhraní dvou prostředí

s různým indexem lomu, umožňuje nám určit polohu a útlum konektorů, svárů či poruch.

Do vlákna jsou vysílány krátké impulsy a je vyhodnocován výkon a časová závislost impulsů odražených zpět. Každý reflektometr má mimo jiné dva důležité parametry, délku vstupní mrtvé zóny a délku identifikační mrtvé zóny. Délka vstupní mrtvé zóny udává nejkratší vzdálenost od přístroje, na které nelze provést spolehlivé měření. Je způsobena Fresnelovým odrazem při navazování světla do vlákna. Je možné ji kompenzovat předřadným vláknem. Identifikační mrtvá zóna nám říká, jakou minimální vzdálenost od sebe mohou mít dvě nehomogenity, aby byly identifikovány zvlášť.

Dalším klíčovým parametrem OTDR je dynamický rozsah, který udává maximální rozdíl mezi navázaným a měřitelným výkonem. Tyto parametry jsou závislé na zvolené délce měřicího impulsu. Čím je délka impulsu větší, tím delší trasy jsme schopni měřit a i dynamický rozsah se nám zvyšuje, ale hodnoty vstupní a identifikační mrtvé zóny se zhoršují, viz tabulka 5.1 [23].

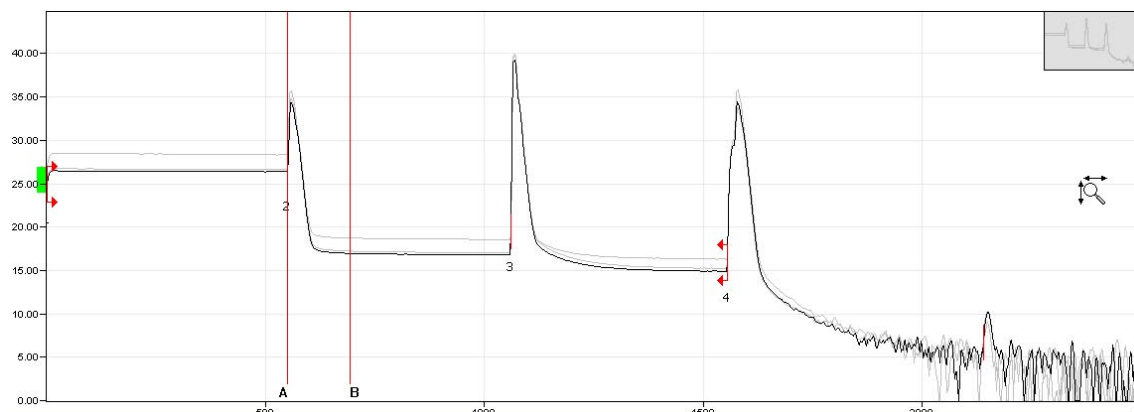
Tab. 5.1: Parametry OTDR [28]

délka měřicího impulsu [ns]	dynamický rozsah [dB]	délka vstupní mrtvé zóny [m]	doporučená délka předřadného vlákna [m]
10	9,7	30	100
30	12,1	50	200
100	21	70	200
275	24,1	100	500
1000	27,3	200	500

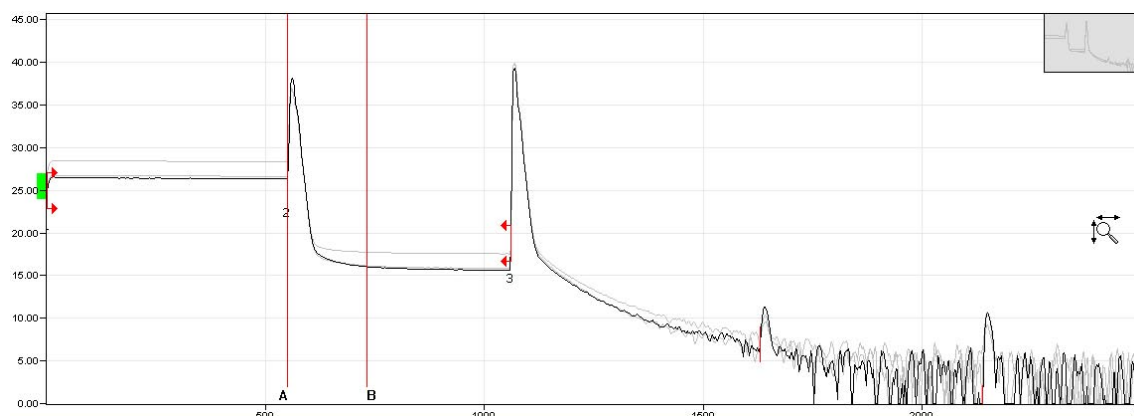
Při měření PON reflektometrem ze strany OLT dochází v optickém rozbočovači k rozdělení měřicího impulsu, stejně jako při provozu sítě sestupného toku. Toto rozdělení přináší značné zkreslení výsledného reflektogramu, část „za rozbočovačem“ je složena z výsledků jednotlivých větví, které mohou mít různé útlumové vlastnosti a délky. Z těchto důvodů je doporučeno měřit PON metodou zpětného rozptylu během výstavby na jednotlivých částech sítě a kompletní síť ze strany ONT/ONU. Optické rozbočovače mají veliký útlum a v případě, že je jich v síti zařazeno více, klade to velké požadavky na dynamický rozsah reflektometru [23, 25].

Pomocí metody zpětného rozptylu jsme schopni měřit všechny klíčové parametry pasivní optické sítě. Při měření celkového vložného útlumu nedosahuje takové přesnosti jako metoda vložných ztrát, avšak tato metoda umožňuje komplexní pohled na síť s konkrétní hodnotou útlumu a polohou všech komponent [23].

Následující obrázky 5.1, 5.2 ilustrují výsledky měření PON se splitterem s dělicím poměrem 1:8. Splitter byl od OLT vzdálen 0,5 km, první ONU byla od splitteru vzdálena 0,5 km a druhá 1 km.



Obr. 5.1: Měření ze strany OLT



Obr. 5.2: Měření ze strany ONU

Na obrázku 5.1 je vidět jak přístroj OTDR není schopen oddělit příspěvky z jednotlivých větví. Odrazy z větví jsou sečteny a my nedokážeme určit v jakém poměru má být výsledný útlum rozdělen. První pokles výkonu je způsoben útlumem splitteru, druhý již menší pokles výkonu je způsoben odrazem od konce kratšího vlákna. Za tímto skokem je již jen útlumový profil delšího vlákna do ONU 2, ale měřen jen polovičním výkonem přístroje. Z měření ze strany OLT nejsme schopni získat relevantní výsledky.

Druhé měření provedené ze strany ONU 1 (5.2, lze již považovat za věrohodný obraz měřené části útlum celé trasy je 10,81 dB [27].

### 5.2.5 Měření PON za provozu

Testování přenosových parametrů za provozu, je možné na jiné než využívané vlnové délce, tedy prostřednictvím OTDR 1625 nm (1650 nm).

V PON je důležitá kontrola výkonu šířených signálů. Běžné měřiče výkonu využívají vlnových délek 1490 a 1550 nm, nebylo by proto možné měřit výkon ve vzestupném směru. K tomuto účelu slouží měřiče výkonu pro PON (PON power meter). Tyto přístroje umožňují bez přerušení spojení mezi OLT a ONT/ONU měření výkonu na všech vlnových délkách. Ve vzestupném směru je měřič výkonu pro PON schopný pracovat s vysílanými časovými úseky, přidělenými v TDM systému dané koncové jednotce 3.1.2 [23].



## 6 NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

V této kapitole bude představen návrh pasivní optické přístupové sítě FTTH podle standardu GEAPON pro konkrétní lokalitu. Návrh odpovídá postupům používaným v praxi a je zpracován formou technické dokumentace.

Za vhodný příklad pro realizaci FTTH sítě byla vybrána lokalita Olomoucké městské části Chomoutov, kde probíhá výstavba rezidenční čtvrti – šest ulic rodinných domů (ulice: Krátká, Výstavní, Vrbová, Javorová, Lužní, Olšová). Nejedná se o developerský projekt, v oblasti se nacházejí domy v rozdílných fázích výstavby. Optická síť je navržena pro 92 koncových účastníků, z toho 75 v lokalitě žije nebo své domy již staví, 17 navrhovaných účastnických přípojek je rezervou pro doposud volné parcely určené k zástavbě. Nedaleko uvažované oblasti vede kabelovod Štěpánov – RSU Řepčín. Poloha Chomoutova a přehledová situace jsou znázorněny na obrázcích 6.1 a 6.2.

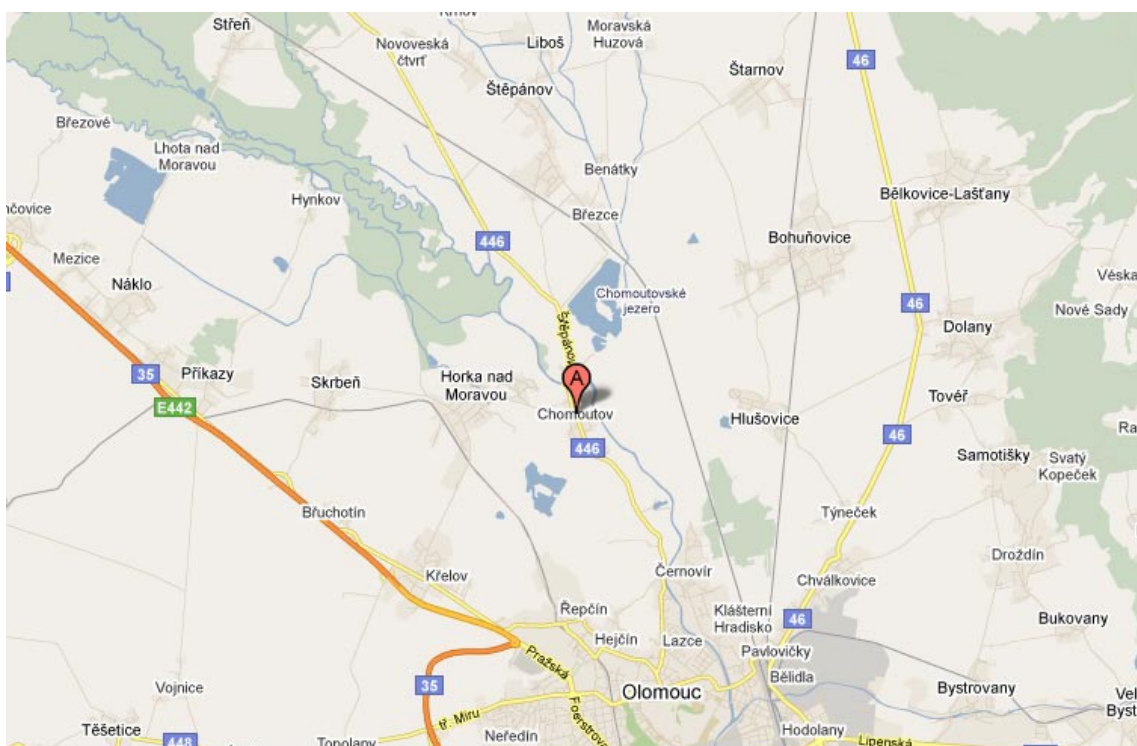
Pro poskytnutí služby Triple Play všem obyvatelům nové čtvrti, byly navrženy konkrétní technologie. Projekt obsahuje kompletní technické řešení od centrální stanice (RSU) až po koncový terminál. Při plánování bylo postupováno podle obecných zásad návrhu datových sítí tak, aby výsledná síť splňovala kritéria zvoleného standardu GEAPON. Členění návrhu koresponduje s členěním zvoleným v kap.6. Při tvorbě výsledného cenového rozpočtu byli použity ceny internetových obchodů asm.cz a telco.subrt.cz, neobsahovala-li nabídka obchodu konkrétní komponent, byla jeho cena stanovena dle výrobku s podobnými parametry.

### 6.1 FTTH Olomouc – Chomoutov

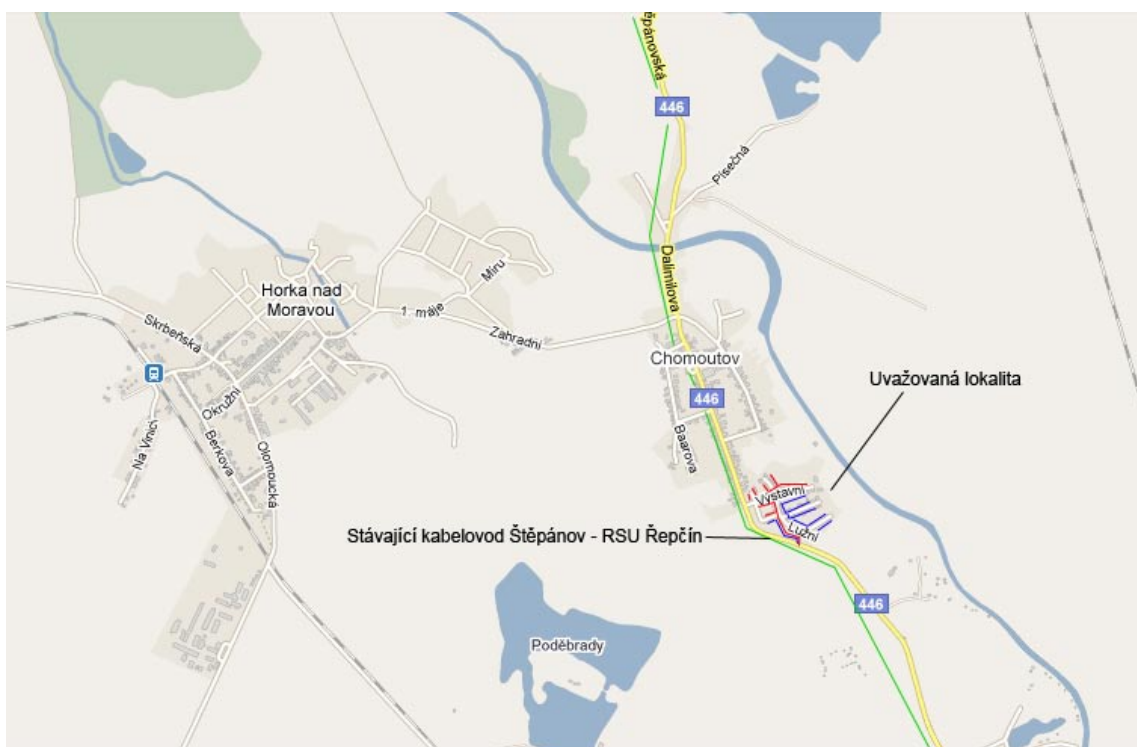
V Olomouci – Chomoutově bude vybudována optická síť, dle standardu GEAPON, přinášející účastníkům službu Triple Play. Přístupová síť se bude skládat ze dvou nezávislých distribučních sítí, korespondujících fyzické uspořádání domů – koncových jednotek. Přístupová síť bude k pátevní síti připojena v RSU Řepčín, odkud bude kabeláž vedena stávajícím kabelovodem až do bezprostřední blízkosti cílové lokality. Rozvod kabelů na místo určení bude realizován prostřednictvím mikrotrubiček určených pro přímou pokládku pod zem. Na území budou umístěny dvě venkovní rozvodné skříně. Poslední metr sítě a umístění koncových zařízení bude diskutováno s jednotlivými účastníky.

#### 6.1.1 Popis trasy

V RSU Řepčín bude zafouknuta tenkostěnná mikrotrubička do HDPE trubky, zde ústícího kabelovodu RSU Řepčín – Štěpánov (Multikanál značky SITEL). Na



Obr. 6.1: Situační mapa



Obr. 6.2: Přehledová situace

třetím kilometru kabelovodu bude ve stávající kabelové komoře umístěn spoj mikrotrubiček. Vyvedení mikrotrubičky z trubky a kabelovodu bude provedeno na úrovni první parcely cílové lokality. Rozpojení HDPE trubky, osazení trubky odbočovacím Y-článkem, připojení tlustostěnné mikrotrubičky na tenkostěnnou a uložení kabelové rezervy bude provedeno v ochranném boxu. Cesta výkopu pro uložení tlustostěnné mikrotrubičky povede podél parcely č. 755/128, u jejího východního rohu bude umístěn venkovní sloupkový rozvaděč.

Hlavní výkopová trasa, z níž budou odbočovat přípojky k jednotlivým domům, povede v zelených pásích podél silnice, v úsecích s chodníkem budou trubičky uloženy pod dlažbu, která bude následně upravena do původního stavu. Hloubka uložení trubiček je 0,8 m. K přechodu silnice budou využity stávající chráničky. Na konci ulice Lužní a začátku ulice Olšová budou z důvodu velkého svazku mikrotrubiček provedeny protlaky a uložení větší chráničky paralelně s chráničkou stávající. Řízený protlak bude také proveden u všech příjezdových komunikací, pod nimiž není umístěna chránička.

Vedení mikrotrubiček na soukromých pozemcích a do vstupních nebo jiných prostor domů, bude řešeno individuálně s každým majitelem. Na volných parcelách bude uložena 7 m dlouhá rezerva.

V lokalitě budou umístěny dva venkovní rozvodné sloupky pro uložení splitterů. První bude osazen u východního rohu parcely č. 755/128, druhý na parcele č. 755/12 na rohu ulic Lužní a Výstavní. Sloupky ORM 96 SIS ZK značky MICOS pojmu i větší množství přivedených mikrotrubiček.

Realizaci výkopů, umístění sloupků se splittery a schéma rozvodu mikrotrubiček znázorňují obrázky 6.3 a 6.4, resp. výkresová dokumentace v příloze 1 a 2. Na výkresu 2 je u konce každé trubičky uvedeno číslo parcely, na kterou je vlákno přivedeno, délka mikrotrubičky, její barva a číslo v distribuční síti.

Do trubky uložené v kabelovodu bude zafouknuta tenkostěnná mikrotrubička značky DuraLine DuraMicro DI 7/5,5.

Navrženy jsou tlustostěnné mikrotrubičky značky DuraLine typ DuraMicro DB 10/5,5 pro úsek mezi kabelovodem a rozvaděčem a 8/3,5 pro trasy k účastníkům. Tyto silnostěnné mikrotrubičky jsou určeny k přímému uložení pod zem.

### **6.1.2 Technické řešení trasy**

Na všech spojkách bude použit optický mikrokabel, určený k zafouknutí, obsahující dvě SM vlákna G.652.D – jedno vlákno provozní (aktivní) označováno „A“, jedno vlákno rezervní označováno „B“. Bude využito optického duplexu, tedy pro směr k účastníku vlnová délka 1490 nm a pro směr k ústředně 1390 nm.



Obr. 6.3: Polohopis

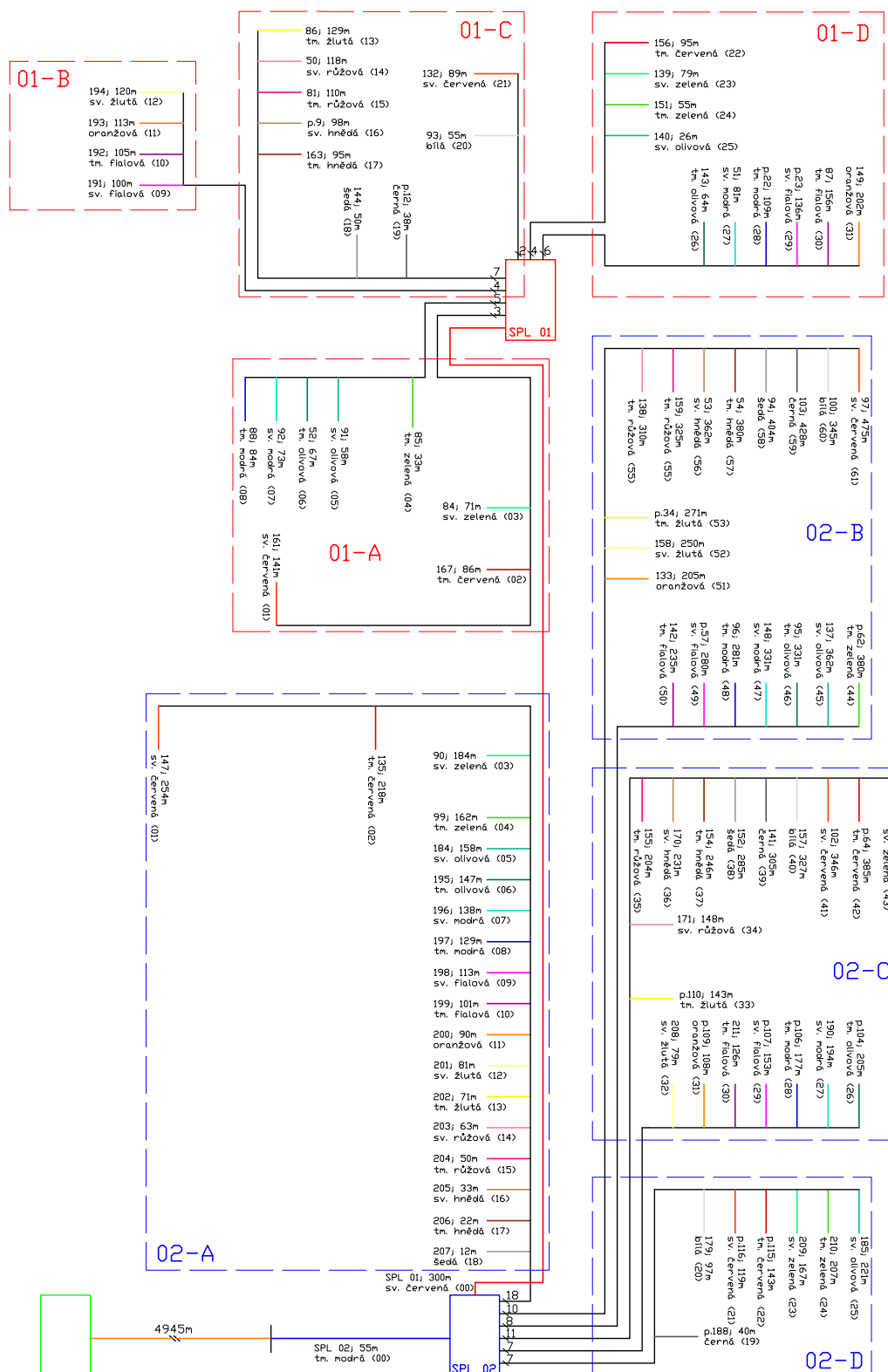
Na straně centrální stanice bude v rozvodné skříní uloženo 10m kabelové rezervy. Kabely 00 ODN 01 a 00 ODN 02 budou vedeny do optické vany, kde dojde k jejich rozvláknění a přivaření pigtailů s konektory SC/APC. Tento svár bude uložen v optické kazetě. Konektory pigtailů budou zezadu připojeny k čelnímu panelu rozvaděče. Odtud jsou ODN s OLT propojeny pomocí patchcordů.

Oba kabely mezi centrální stanicí a splittery jsou vedeny až do rozvodného sloupku označeného SPL 02 společně. Kabel označený ODN 01 00 nebude ve sloupku ukončen, ale bude veden dál do sloupku SPL 01.

Do sloupků ORM 96 SIS ZK, v nichž budou osazeny splittery, lze umístit až 96 konektorů a umožňují uložení až 6m rezervy optického vlákna. V těchto sloupcích budou také optické kazety, ve kterých budou uloženy sváry přivedených vláken s pigtaily opatřenými konektorem SC/APC, pro připojení k rozbočovači.

Na straně účastníků bude ve vstupních prostorech domů umístěn optický nástěnný rozvaděč, do kterého bude kabel přiveden v mikrotrubičce a kde také dojde k rozvláknění kabelu. Provozní vlákno bude opatřeno konektorem, resp. bude přivařen pigtail s konektorem E2000. Trasa mezi rozvaděčem a účastnickým terminálem po domě bude realizován pomocí kabelu pro vnitřní použití s protipožární ochranou.

Kabel bude zafouknut i do rezervních trubiček na volných parcelách, kde bude



Obr. 6.4: Schéma rozvodu mikrotrubiček

konec kabelu i mikrotrubičky opatřeny ochranou před působením vnějších vlivů.

Kabelem pro realizaci celé sítě může být například DROP AIRBLOWN od firmy AKSH vhodný k zafouknutí, obsahující dvě SM vlákna G.652.D, s vnějším průměrem 1,7 mm, s povoleným trvalým min. poloměrem ohybu 40 mm.

Optická vana bude složena z optického rozvaděče MICOS ORMPTR 1,5U/2U a kompatibilní optické kazety MICOS KM 2.

V domech bude umístěn optický nástěnný rozvaděč ORM2 značky MICOS, který je určen k ukončení mikrotrubiček a kabelů na straně účastníků FTTH sítí.

Pro rozvod po interiérech je možné využít kabel značky Huber + Suhner typ MASTERLINE Compact s vlákny G.657.A, který je již předkonektorován.

Pigtaily značky ZCOMAX se vyrábějí se všemi typy konektorů v různých délkách a budou použity, při všech aplikacích.

Optické rozbočovače s dělicími poměry 1:32 (ODN 01) a 1:64 (ODN 02) budou osazeny do rozvodných sloupků již předkonektorovány. Budou použity PLC splitters značky NWC, opatřeny konektory SC/APC.

Obrázek 6.5 (výkresová dokumentace příloha č.3) a obrázek 6.6 (výkresová dokumentace příloha č.4) představují způsob ukončení jednotlivých vláken na straně účastníků a v rozvaděcích.

### **6.1.3 Použité technologie**

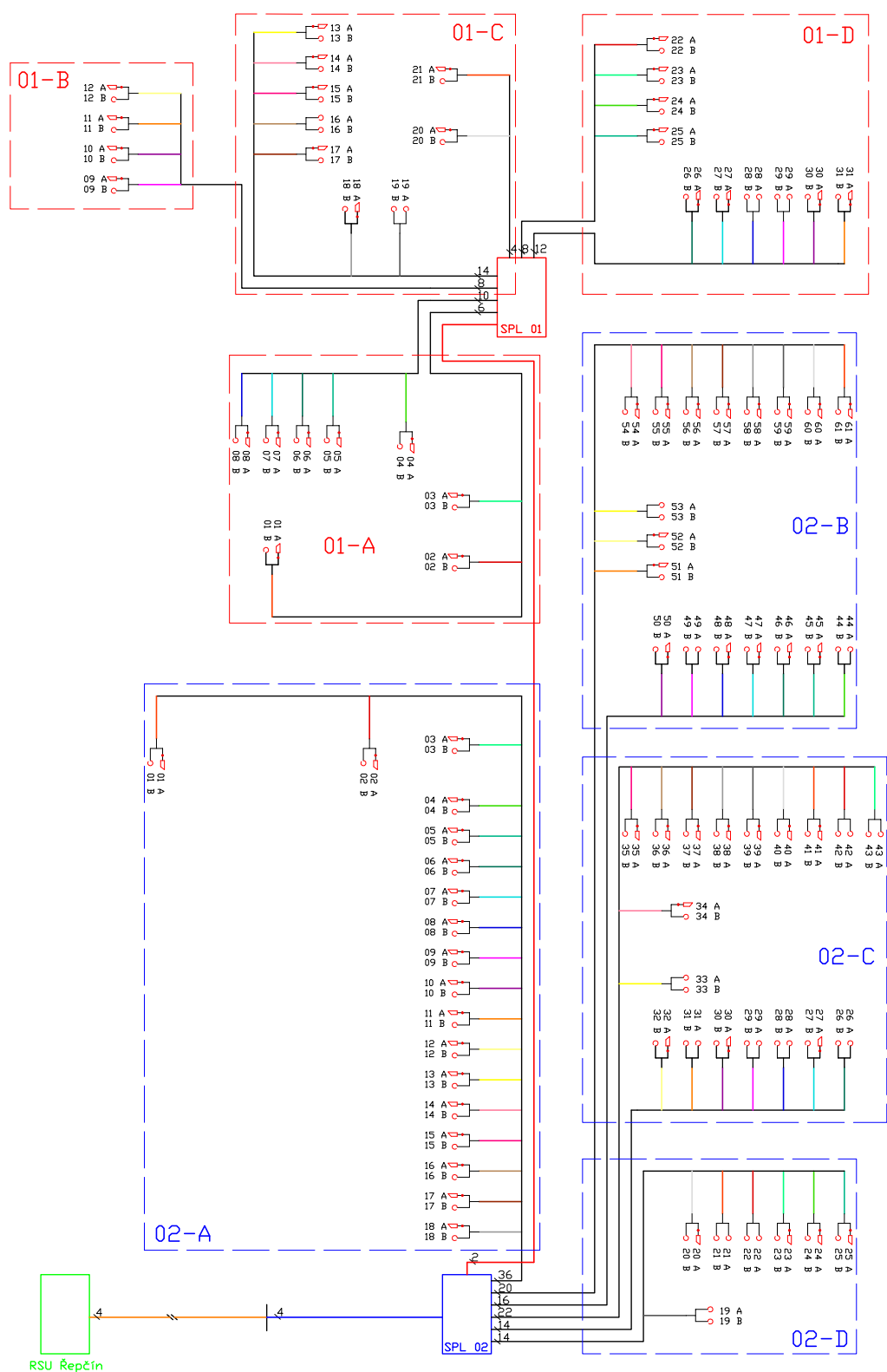
#### **Centrální stanice**

V centrální stanici bude umístěna optická ústředna (OLT) značky XtendLan typ GOLT-404. Využívané porty budou osazeny SFP moduly MGB-OPX20 s SC konektorem. Centrální jednotka umožňuje připojení až čtyřech distribučních sítí s dělicím poměrem 1:64 v každé z nich. SFP modul má maximální vysílací výkon 7 dBm a citlivost přijímače -30 dBm. OLT i moduly pracují ve standardu 802.3ah – vlnová délka dopředného směru je 1490 nm a zpětného 1310 nm, přenosová rychlost je pro oba směry 1,25 Gbps. Připojení OLT na páteřní síť resp. na centrální přepínač zajišťující Triple Play službu bude realizován pomocí miniGBIC SFP konektorů, které jsou součástí centrální jednotky.

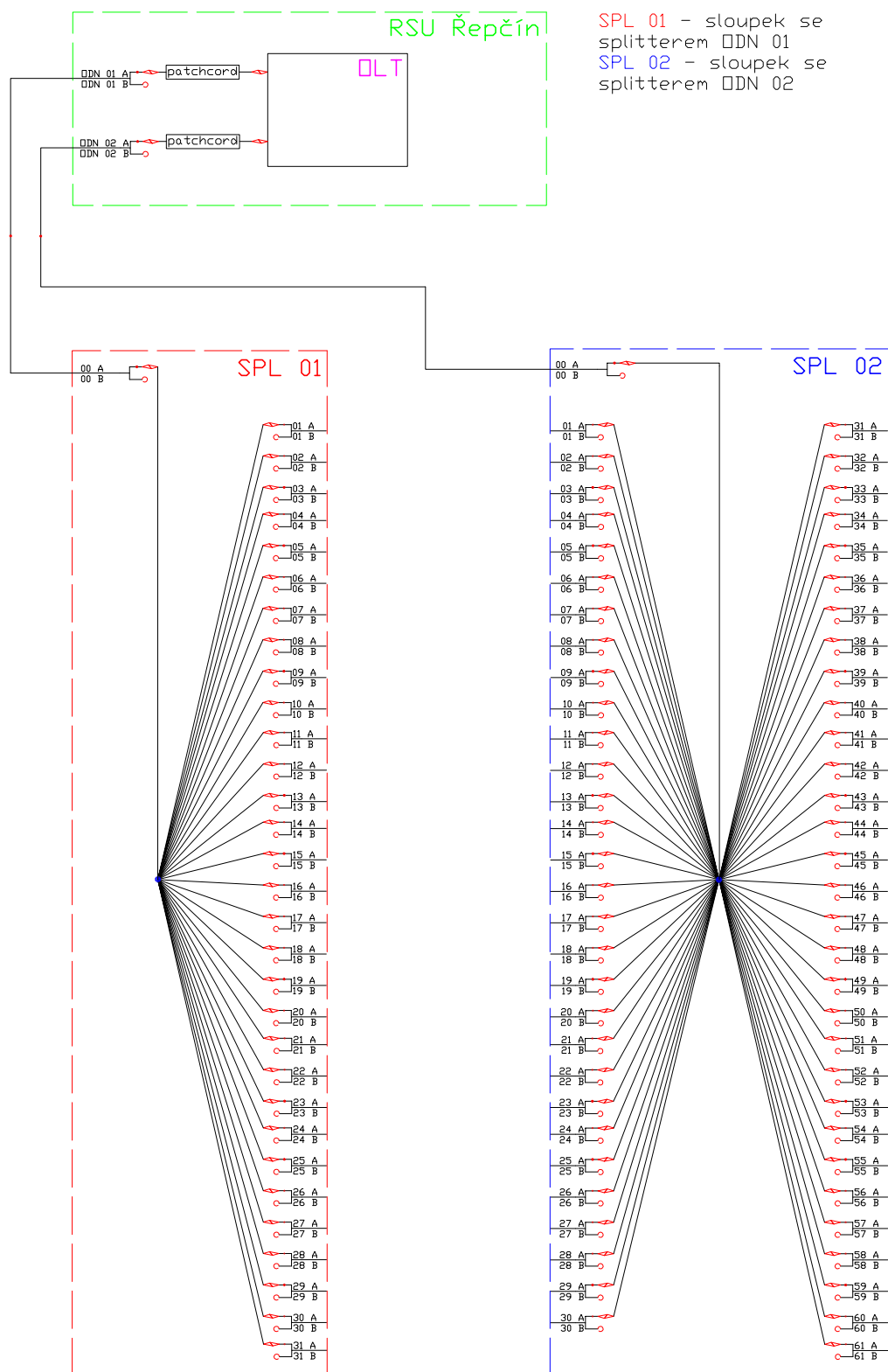
Veškeré zařízení umístěné v centrální stanici bude uloženo ve skříni MICOS MNS 10". Ve skříni bude umístěna optická ústředna, optická vana a box pro uložení kabelové rezervy (viz 6.1.2). Schéma osazení skříně – Příloha č.5.

#### **Účastnické terminály**

Domácí brány GONU 14R značky XtendLan plně podporující GE-PON dle 802.3ah. Maximální výstupní výkon vysílače je 4 dBm a maximální citlivost přijímače je



Obr. 6.5: Schéma ukončení vláken na straně ONT



Obr. 6.6: Schéma ukončení vláken na straně rozvaděčů



–25 dBm. Toto ONT má jeden SC/APC konektor pro připojení k ODN, 4 Ethernet porty RJ-45, 2 FXS port pro VoIP a jeden port pro připojení CATV. Účastnické terminály budou umístěny podle přání zákazníků.

#### 6.1.4 Rozpočet

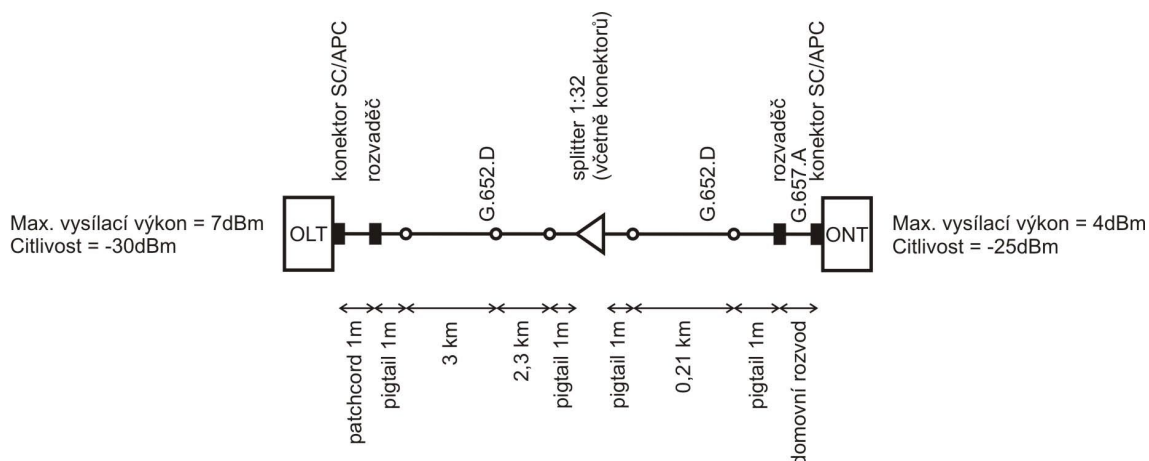
	počet [ks, m]	cena za jednotku [Kč]	celkem bez DPH [Kč]
<b>TRASA</b>			
<b>Mikrotrubičky</b>			
DuraLine DI 7/5,5	4945	7,10	35 109,50
DuraLine DB 10/5,5	55	11,50	632,50
DuraLine DB 8/3,5 (různé barvy)	15900	10,80	171 720,00
příslušenství (spojky, odbočky)			2 000,00
<b>Kabely</b>			
DROP AIRBLOWN AKSH 2 vlákna SM G.652.D	26000	5,25	136 500,00
<b>Sloupky se splitter</b>			
Sloupek ORM 96 SIS ZK MICOS	2	19 980,00	39 960,00
Optická kazeta MICOS KM 2	2	67,00	134,00
PLC splitter 1:32 NWC	1	8 700,00	8 700,00
PLC splitter 1:64 NWC	1	15 720,00	15 720,00
Ochranný box pro uložení pod zem	1	5 320,00	5 320,00
Pigtail SC/APC 1m	171 (+17)*	56,00	10 528,00
<b>CENTRÁLNÍ STANICE</b>			
OLT XtendLan GOLT-404	1	47 725,00	47 725,00
SFP modul MGB-OPX20	2	3 903,00	7 806,00
Skříň MICOS MNS 10"	1	2 640,00	2 640,00
Optický rozvaděč MICOS ORMPTR 1,5U/2U	1	765,00	765,00
Optická kazeta MICOS KM 2	1	67,00	67,00
Box pro uložení kabelové rezervy	1	364,00	364,00
Patchcord SC/APC - SC/APC 1m	2	169,00	338,00
<b>STRANA ÚČASTNÍKŮ</b>			
Nástěnný rozvaděč ORM2 MICOS	75 (+17)*	74,00	6 808,00
Kabel Huber + Suhner typ MASTERLINE Compact G.657.A *			
Domácí brána XtendLan GONU 14R	75 (+17)*	4 320,00	397 440,00
Stavební práce (výkopy 1200m <sup>3</sup> , protlaky, osazení sloupků)			450 000,00
Stavební materiál			10 000,00
Montážní práce			200 000,00
Projekce			20 000,00
<b>Celkem:</b>			1 570 277,00

\*závislé na účastnících

V rozpočtu nejsou zahrnuty částky na pronájem kabelovodu a místa v RSU.

## 6.2 Útlumová bilance

Analýza útlumu sítě pro nejvzdálenějšího účastnickou jednotku distribuční sítě 01, provedena podle [11], odkud byly použity i hodnoty nominálních útlumů komponent.



Obr. 6.7: Trasa FTTH

Tab. 6.1: Útlum trasy FTTH

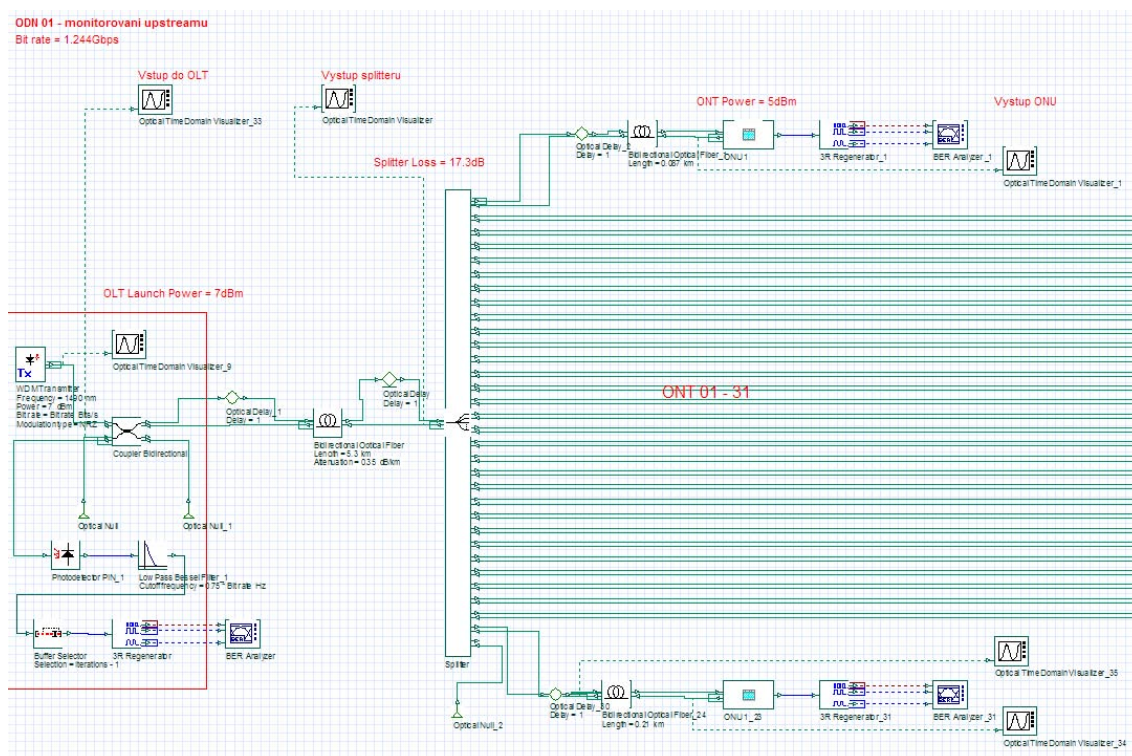
Komponent	Specifikace	Počet [ks], délka [km]	Nominální (vložený) útlum [dB, dB/km]	Celkový útlum [dB]
Konektor	SC/APC	2	0,20	0,40
Splitter	1:32	1	17,30	17,30
Rozvaděč	2 konektory SC/APC	2	0,50	1,00
Svár		5	0,05	0,25
Optické vlákno	G.652.D	5,51	0,35	1,93
Rezerva	Stárnutí, tepelná kompenzace			0,75
<b>Celkový útlum distribuční sítě</b>				<b>21,63</b>

Celkový útlum navrhované trasy byl stanoven součtem útlumů dílčích částí. K výpočtu byly použity typické hodnoty síťových prvků, hodnoty útlumu pracovních vláken byly pro jejich velmi nízké hodnoty zanedbány. Výsledný útlum trasy byl stanoven 21,63 dB, viz tabulka 6.1, tato hodnota splňuje limit pro maximální povolený útlum PON 1:32 podle standardu GEAPON 4.2. Konkrétní navrhovaná aktivní zařízení byla vybrána tak, aby jejich hodnoty úrovně výstupního výkonu a citlivosti s celkovým útlumem přenosové trasy nekolidovala.

## 7 SIMULACE OPTICKÉ SÍTĚ

Síť navržená v kapitole 6, byla modelována v simulačním programu OptiSystem7. Tento software umožňuje modelování optických sítí všech typů – pasivní, aktivní, WDM. Při vytváření modelu je možno využít knihoven nabízejících širokou škálu síťových prvků. Parametry vybraných prvků lze velice snadno nastavovat a je také možné dávat komponentům nové vlastnosti. U sestavené sítě je možné analyzovat celou řadu přenosových parametrů, jakými jsou například útlum a chybovost, také je možno zobrazovat časové průběhy přenášených signálů ve všech bodech sítě či diagram oka přenosového soustavy.

### 7.1 Vytvoření modelu



Obr. 7.1: Část modelu ODN 01

Modelovaná síť byla oproti navrhované zjednodušená. V simulaci nebyly zařazeny prvky jako sváry, konektory, rozvaděče a rezerva (v útlumové bilanci se s ní musí počítat), ale o součet útlumů těchto součástí byl navýšen vložný útlum coupleru, jakožto prvku společnému všem ONU jednotkám. Při stanovování této hodnoty nebyly použity typické hodnoty vložných útlumů, uplatněné při výpočtu útlumové bilance (6.2), ale hodnoty mezní dle ISO/IEC 11801 (4.1). Tento přístup umožnil simulovat

limitní stav celé sítě, ověřit její funkčnost i v krajních podmínkách a odečítat mezní hodnoty hledaných parametrů.

Po sestavení sítě v programu byly nastaveny parametry všech prvků. Výstupní výkon OLT a ONT byly v prvním kroku voleny dle horních mezních hodnot GEAPON uvedených např. v [5], tedy 7 dBm pro OLT, 4 dBm pro ONU/ONT. Výstupní výkon ONT však musel být zvýšen na 5 dBm, jelikož simulační program nezobrazoval při nižší úrovni než -24,0 dBm hodnoty BER, přestože by tyto hodnoty byly při reálném měření korektní (citlivost detektorů dle [5] je minimálně -24 dBm). Nastavené hodnoty důležitých parametrů jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tab. 7.1: Hodnoty parametrů simulace

	Komponent	Parametr (název v OptiSystem)	Hodnota	
			ODN 01	ODN 02
OLT	WDM Transmitter	Frequency	1490 nm	1490 nm
		Power	7 dB	7 dB
	Coupler	Insertion Loss*	5,25 dB	5,25 dB
	Photodetector PIN	Sample rate	5*(Sample rate)	5*(Sample rate)
Splitter	Splitter	Number of output ports	32	64
		Insertion Loss	17,3 dB	21,0 dB
ONT	ONU	Time Slot	0-30	0-60
	WDM Transmitter	Frequency	1310 nm	1310 nm
		Power	5 dB	5 dB
	Photodetector PIN	Sample rate	5*(Sample rate)	5*(Sample rate)
Bidirectional Optical Fibre	Bidirectional Optical Fibre	Length		
		Attenuation	0,35 dB/km	0,35 dB/km
Projekt parameters		Bit rate	1244160000 Bits/s	1244160000 Bits/s
		Sequence length	512 Bit	512 Bit
		Samples per bit	32	32

\*útlum coupleru reprezentuje útlum částí sítě nezařazených do simulace

Pro snížení výpočetní náročnosti byly obě ODN navrhované sítě simulovány zvlášť. Naskytla se nám tak nejen možnost náhledu na celou síť, ale také možnost porovnat změnu přenosových parametrů GEAPON sítí s rozdílným počtem koncových účastníků.

## 7.2 Výsledky simulace

### 7.2.1 Měření výkonu

Výkon byl při simulacích odečítán pomocí prvku s názvem Optical Time Domain Visualizer, tento prvek funguje obdobně jako například osciloskop, umožňuje zobrazení časového průběhu signálu a odečtení hodnot výkonu. V programu je také možno využít měřidla výkonu Optical Power Meter, ten však ke zkoumaný signál analyzuje

jako celek, což je v případě sítě založené na časovém dělení, kdy má každý časový kanál různou úroveň, značně nevýhodné. Následující tabulka a obrázky vypovídají o výkonové úrovni signálu v různých částech sítě. V obrázcích je také vidět, jak se ve směru k OLT ve splitteru skládají jednotlivé časové kanály.

Tab. 7.2: Výkonová úroveň v částech sítě

	místo měření	úroveň [dBm]		poznámka
		ODN 01	ODN 02	
downstream	Výstup zdroje OLT	7	7	Obr.6.2 a)
	Výstup coupleru	1,75	1,75	
	Vstup splitteru	-0,11	0	
	Výstup splitteru	-17,41	-21	Obr.6.2 b), c)
	Vstup ONU (nejvzálenější)	-17,48	-21,17	
upstream	Výstup ONU	5	5	Obr.6.3 a), b)
	Vstup splitteru (nejvzálenější ONU)	4,93	4,83	
	Výstup splitteru	-11,83 až -13,33	-15,17 až -16,97	Obr.6.3 c), d)
	Vstup coupleru	-13,69 až -15,19	-16,92 až -18,67	
	Vstup detektoru OLT	-18,94 až -20,44	-22,17 až -23,92	

Z hodnot výkonů byly stanoveny hodnoty útlumů tras.

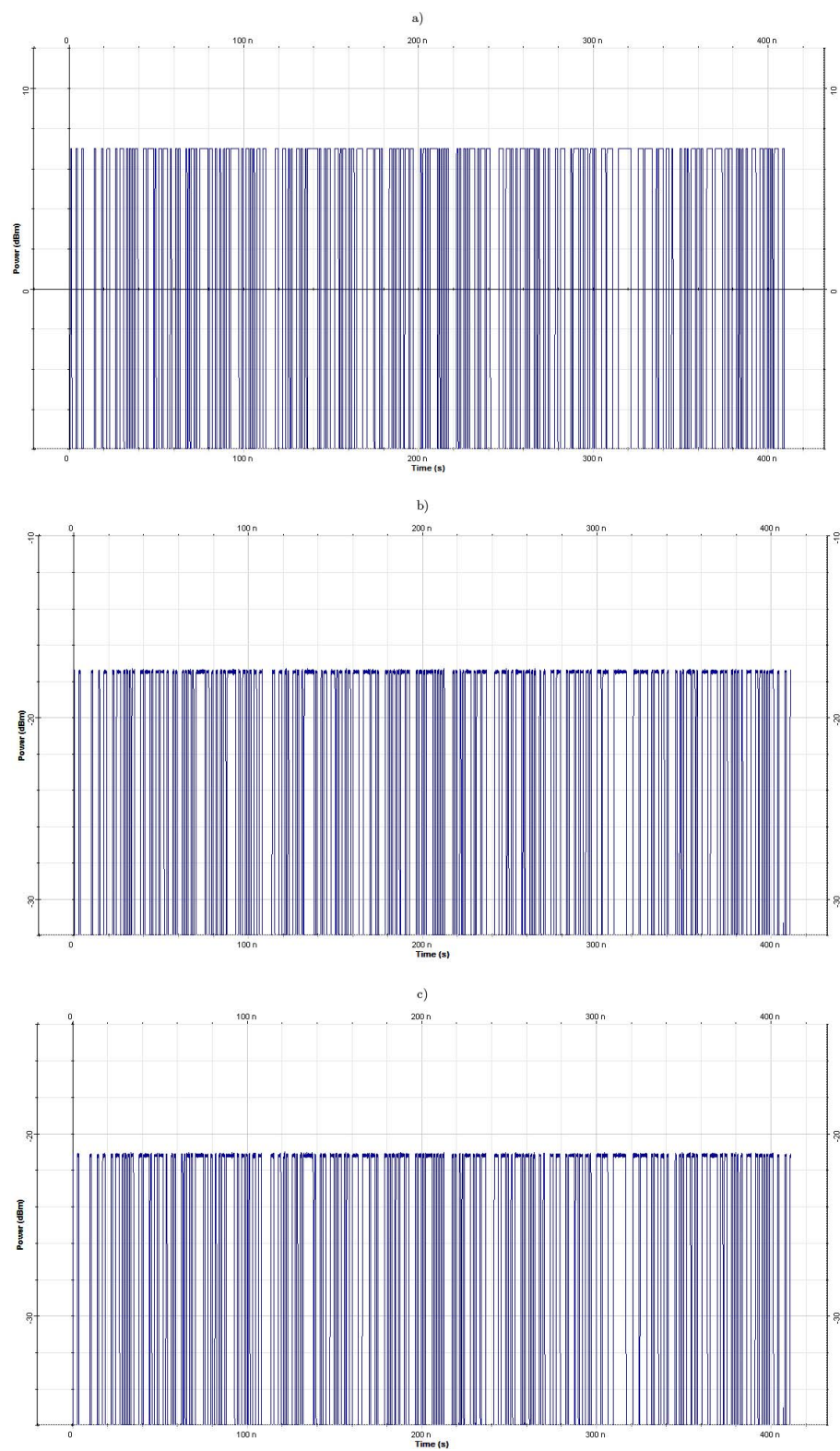
Tab. 7.3: Hodnoty útlumů tras

Směr měření	Útlum [dB]	
	ODN 01	ODN 02
Downstream	24,48	28,05
Upstream	23,94-25,44	27,17-28,92

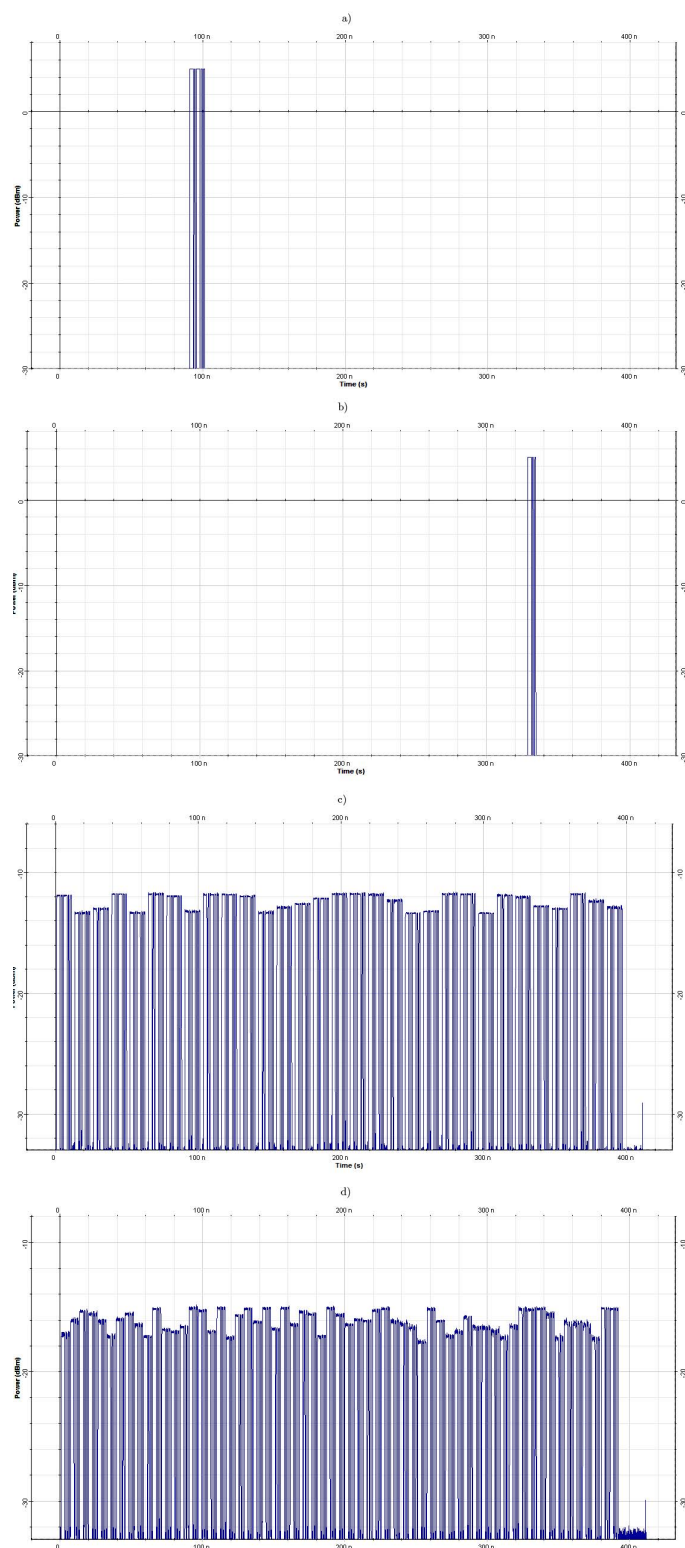
## 7.2.2 Měření chybovosti

K měření chybovosti v programu slouží modul s názvem BER Analyzer, tento prvek umožňuje měření bitové chybovosti BER a zobrazení diagramu oka zkoumaného přenosového systému. Diagram oka je velice užitečný analytický prostředek, je z něj možné zjistit rozdíl logických úrovní (výška oka), šířku symbolového prvku (šířka oka), kolísání zpoždění tzv. jitter, vliv šumu na signál a další užitečné informace.

Stejně jako měření útlumu, potažmo výkonu, i měření chybovosti bylo provedeno u obou ODN v obou směrech a v případě downstreamu pro nejvzdálenější ONT. Výsledky měření jsou zaneseny v tabulce 7.4 a výsledné diagramy oka znázorněny na obrázku 7.4.

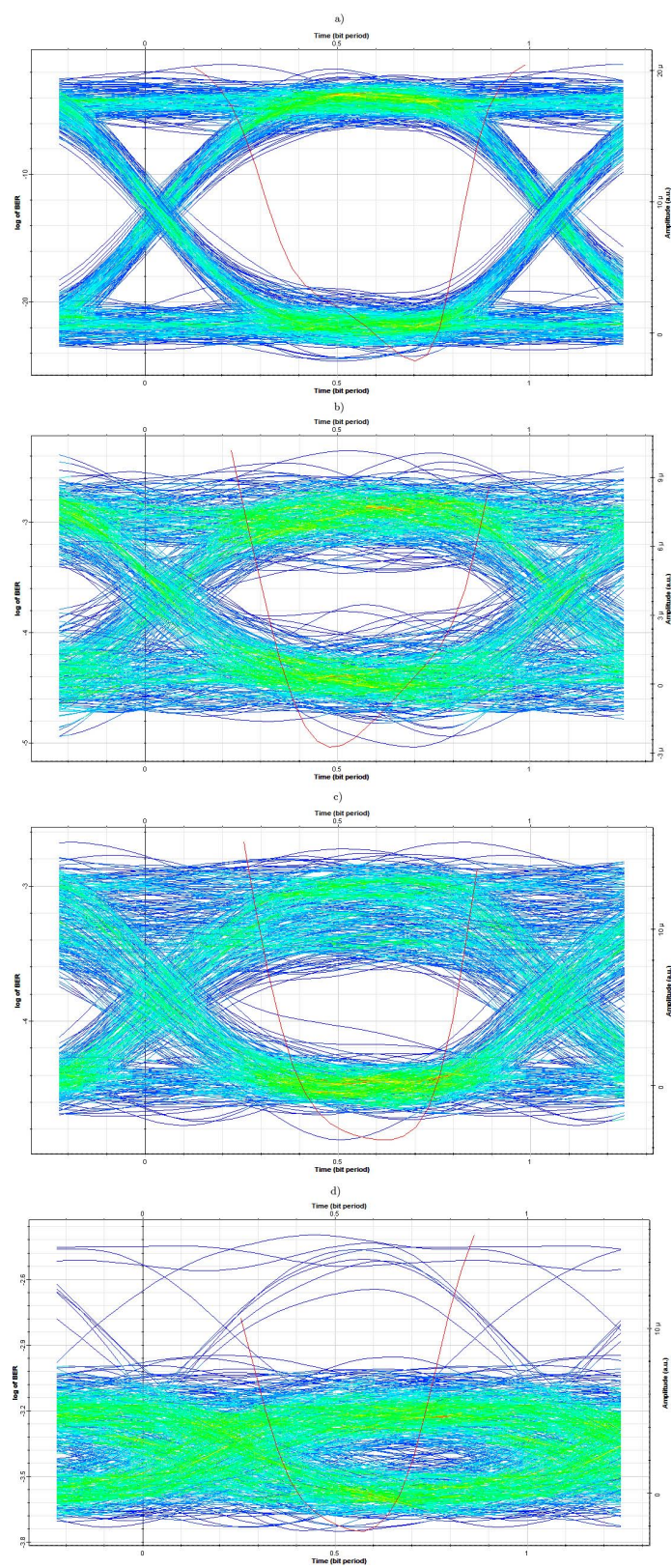


Obr. 7.2: Časový průběh signálu - downstream a) Výstup zdroje OLT; b) Výstup splitteru ODN 01; c) Výstup splitteru ODN 02



Obr. 7.3: Časový průběh signálu - upstream a) ODN 01 výstup ONT 08; b) ODN 02 výstup ONT 52; c) Výstup splitteru ODN 01; d) Výstup splitteru ODN 02





Obr. 7.4: Diagram oka odečtený na přijímačích a) ODN 01 - ONT 31; b) ODN 02 - ONT 61; c) ODN 01 - OLT; d) ODN 02 - OLT



Tab. 7.4: Chybovost

	Místo měření	Min. BER
ODN 01	Nejvzdálenější ONT (downstream)	$2,4474 \cdot 10^{-25}$
	OLT (upstream)	$1,3269 \cdot 10^{-5}$
ODN 02	Nejvzdálenější ONT (downstream)	$9,2167 \cdot 10^{-6}$
	OLT (upstream)	$1,7739 \cdot 10^{-4}$

### 7.3 Zhodnocení simulací

Výsledky simulací navrhované sítě ukázaly, že tato síť by byla schopna provozu i za mezních podmínek, které byly stanoveny použitím krajních hodnot dle ISO/IEC 11801. Výkonové úrovně na vstupech detektorů navrhovaných zařízení by neklesly pod jejich maximální citlivost. Je však pravdou, že celkový útlumy trasy ve všech testovaných případech (tab.7.3) přesáhl hranici 24 dB danou doporučení 802.3ah pro síť GEAPON. Při porovnání výsledků naměřených výkonových úrovní ODN 01 a ODN 02 je patrné, že nejmarkantnější rozdíl je v útlumu splitteru, útlumy vláken mezi splitteru a ONT jsou také rozdílné, avšak nepatrné.

Hodnoty chybovostí splnily limit 802.3ah stanovený na  $10^{-3}$  před použitím korekčních kódů. Použitím dopředné korekce (FEC) je možno snížit chybovost o několik řádů, pro GEAPON optimálně pod hranici  $10^{-12}$ . Na diagramech oka je patrné jaký vliv má například rozdílná vzdálenost účastníků od splitteru. Na obrázku 7.4 d) je oko ODN 02 s rozdílovou vzdáleností účastníků 455 metrů, nad úroveň hlavního oka vybíhají křivky blízkých účastníků. V reálných sítích je OLT vybaveno mechanismy, jejichž pomocí nastaví vysílací výkon všech ONT podle vzdálenosti tak, aby úroveň výkonu na přijímači OLT byla od všech koncových jednotek stejná. Rozdílová vzdálenost také ovlivňuje hodnotu jitteru, který s rostoucí rozdílovou vzdáleností také roste. Je také vidět jak se oko v síti s vyšším útlumem zavírá. Velký rozdíl ve výsledku chybovosti dopředného a zpětného směru ODN 01 bych přičetl chybě simulačního programu, který je velice výpočetně náročný, dokonce i v průběhu kompilací docházelo k chybám a bylo nutné je spouštět znovu.

Program může být užitečným nástrojem při návrhu sítí pohybujících se na hranici doporučených hodnot přenosových parametrů. Lze s jeho pomocí snadno vytvořit daleko přesnější a rozsáhlejší útlumovou bilanci, než např. uvedená v kap. 6.2. Bez tohoto programu bychom při návrhu sítě hodnotu chybovosti stanovovali jen velice obtížně.

## 8 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo vytvořit ucelený soubor poznatků o problematice optických přístupových sítí a to zejména takových, které vedou ke komplexnímu pochopení dané problematiky, jakožto základním kamenům pro návrh takovýchto sítí. Byl představen vzorový návrh přístupové sítě včetně způsobu ověření jeho přenosových parametrů před vlastní výstavbou formou simulace.

První myšlenky návrháře přístupové sítě by měli mířit k rozhodnutí, jaký typ přístupové sítě zvolit. Tato volba závisí především na tom, kam až chceme či můžeme přivést optické vlákno v rámci přístupové sítě. Toto je základní parametr odlišující jednotlivé varianty FTTx. Dalším úzce souvisejícím rozhodnutím je, zda v navrhované síti použít spojení typu bod-bod či bod-více bodů. Zde platí, že s vyššími náklady na vybudování a provoz rostou kvalita přenosu a možnosti dalšího růstu sítě.

Pasivní optická síť představuje relativně jednoduché a levné řešení realizace přístupové sítě, které je vyváжено řadou omezení jako například maximální počet účastníků a jejich vzdálenost od centrální jednotky. Při návrhu je důležité zvolit provozovaný standard a zajistit, aby všechna nasazená zařízení tento standard podporovala. Síť s aktivními technologiemi nám umožňuje takřka neomezené možnosti, kterou jsou však vysoce ceněny. Výběru mezi těmito dvěma možnostmi by měla předcházet rozvaha nad skutečnými potřebami koncových účastníků a pohled do blízké budoucnosti na možný růst a rozvoj sítě.

Výběr technického řešení trasy a síťových technologií je dominantně ovlivněn třemi faktory. Prvním je předchozí výběr typu sítě popřípadě standardu, na kterém bude síť pracovat. Druhým faktorem ovlivňujícím především realizaci trasy je místo a možnosti pokládky kabelů popř. uložení některých dalších komponent. V neposlední řadě zvolení nasazených prvků ovlivňuje cena. Vybrané technologie by měly tvořit fungující celek zajišťující bezchybný provoz sítě.

Důležitým bodem při realizaci optické přístupové sítě je ověření její funkčnosti a kvality přenosových parametrů. Pouze měřením během a bezprostředně po výstavbě je možné odhalit nežádoucí jevy a následně zajistit jejich odstranění. Měření však musí být provedeno korektně a jeho výsledky musí být správně interpretovány.

Praktická část práce představila konkrétní uplatnění teorie předchozích kapitol. Projekt byl členěn shodně s koncepcí zvolenou v kapitole zabývající se výstavbou. Návrh představil úplnou technickou dokumentaci potřebnou k výstavbě optické přístupové sítě včetně podrobného finančního rozpočtu a výkresů. Síť FTTH Olomouc–Chomoutov dle standardu GEAPON byla navržena pro přenos služby Triple Play všem 92 koncovým účastníkům. Přístupová síť byla vhodně rozdělena na dvě distribuční sítě odpovídající fyzickému rozložení rodinných domů. Byla zvolena možnost

pokládky tlustostěnných mikrotrubiček přímo pod zem, zejména z toho důvodu, že časté vyvádění mikrotubiček z kabelovodu by bylo náročné na realizaci a použitý materiál, a tedy velice nákladné. V technickém řešení trasy byly vybrány kabely vhodné k zafukování do navržených mikrotrubiček obsahující dvě vlákna, jedno provozní a druhé rezervní, které je možné využít v případě přerušení či jiné závady provozního vlákna. Rezervní vlákno je také možné využít při případném rozšiřování sítě nebo změny topologie. Předkonektorované splitters byly zvoleny zejména z důvodu snadné manipulace při měřeních a údržbě. Aktivní technologie byly navrženy zejména dle zvoleného standardu a podpoře Triple Play služeb. Provedením útlumové bilance byla ověřena správnost návrhu z pohledu dodržení limitů stanovených IEEE.

Bezchybnost návrhu byla navíc ověřena simulacemi, které podpořily výsledky útlumové bilance a navíc, umožnili náhled na chybovost tras. Navrhovaná síť byla při simulacích zatížena nastavením mezních útlumů komponent podle ISO/IEC. Výsledky ukázaly, že i při těchto útlumech by skutečná síť mohla fungovat, výkony signálů by na vstupech přijímačů neklesly pod jejich citlivost. Chybovost datového toku před použitím korekcí byla v souladu se standardem.

V praxi neexistuje vzor, podle kterého by projektanti optických přístupových sítí při návrhu postupovali. Formu a strukturu dokumentů určují investoři, kteří si často nechávají rozdílné části sítě navrhovat rozdílnými subjekty a tímto postupem si zajišťují jednotnost dokumentace. Přínosem této práce je navržení podoby takového hoto dokumentu (vzoru) s představením na konkrétním příkladu s oporou o uvedené teoretické poznatky.

# LITERATURA

- [1] VODRÁŽKA, J.: *Základy FTTx* [online]. 22. 5. 2006 [cit. 5. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zaklady-  
fttx&cisloclanku=2006051702](http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zaklady-<br/>fttx&cisloclanku=2006051702)>.
- [2] SCHLITTER, P.: *Optické přístupové sítě* [online]. 28. 7. 2004 [cit. 5. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807>>.
- [3] BROUČEK, J., DVOŘÁK, P.: *FTTx – technologie pro poslední míli* [online]. 12. 5. 2010 [cit. 5. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://www.netguru.cz/odborne-  
clanky/fttx-technologie-pro-posledni-mili.html](http://www.netguru.cz/odborne-<br/>clanky/fttx-technologie-pro-posledni-mili.html)>.
- [4] FILKA, M.: *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku* . 1.vyd. Brno, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [5] RIO Media: *Internet – PŘIPOJENÍ PŘES OPTICKOU SÍŤ* [online]. 2010 [cit. 6. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.fcatv.cz/internet>>.
- [6] GIRARD, A.: *FTTx PON Technology and Testing*. Quebec City, Canada: EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2005. 191 s. ISBN 1-55342-006-3.
- [7] BLACHARSKI, D.: *What is FTTx or Fiber-To-The-Premises?* [online]. 8. 9. 2010 [cit. 6. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://www.wisegEEK.com/what-is-  
fttx-or-fiber-to-the-premises.htm](http://www.wisegEEK.com/what-is-<br/>fttx-or-fiber-to-the-premises.htm)>.
- [8] HÁJEK, M., HOLOMEČEK, P.: *Měření chromatické a polarizační vidové disperze jednovidových optických tras* [online]. 5 s. [cit. 27. 10. 2008]. Dostupné z URL: <[http://www.ieee802.org/3/10GBT/public/nov03/10GBASE-  
T\\_tutorial.pdf](http://www.ieee802.org/3/10GBT/public/nov03/10GBASE-<br/>T_tutorial.pdf)>.
- [9] LAFATA, P., VODRÁŽKA, J.: *Pasivní optická síť GPON* [online]. 23. 05. 2009 [cit. 10. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-sit-  
gpon&cisloclanku=2009050002](http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-sit-<br/>gpon&cisloclanku=2009050002)>.
- [10] SVITÁK, P.: *PR: Komplexní domácí brána s optickým vstupem pro služby triple play*. [online]. 14.09.2010 [cit. 10. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.internetprovsechny.cz/clanek.php?cid=230>>.
- [11] LAFATA, P.: *Útlumová bilance pasivních optických přístupových sítí* [online]. 28. 6. 2009 [cit. 11. 10. 2010]. Dostupné z URL:

- <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=utlumova-balance-pasivnich-optickych-pristupovych-siti&cislocclanku=2009060002>>.
- [12] SQS vláknová optika: *Fiberoptic Passive Components: 1xN, 2xN PLC Splitters* [online]. 2 s. [cit. 15. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://www.sqs-fiber.cz/catalogue/plc\\_splitter\\_1\\_128.pdf](http://www.sqs-fiber.cz/catalogue/plc_splitter_1_128.pdf)>.
- [13] HARAN, Onn F., SHEFFER, A.: *The Importance of Dynamic Bandwidth Allocation in GPON Networks* [online]. Leden 2008. 22 s. [cit. 17. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[www.pmc-sierra.com/cgi-bin/document.pl?docnum=2072146](http://www.pmc-sierra.com/cgi-bin/document.pl?docnum=2072146)>.
- [14] LAFATA, P.: *Pasivní optická přístupová síť EPON* [online]. 23. 5. 2009 [cit. 17. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cislocclanku=2009050003>>.
- [15] GORSHE, S., MANDIN, J.: *Introduction to IEEE 802.3av 10Gbit/s Ethernet Passive Optical Networks (10G EPON)* [online]. Leden 2009. 39 s. [cit. 20. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://cdn.assets.sites.launchrocketship.com/744b9cb4-1e4d-4f17-a027-06c2ad939802/files/40ffc9c6-6ff5-49b4-a225-ccc32f279540/pas8011\\_olt\\_pas9011\\_onu\\_symmetric\\_10g\\_evaluation\\_kit.pdf](http://cdn.assets.sites.launchrocketship.com/744b9cb4-1e4d-4f17-a027-06c2ad939802/files/40ffc9c6-6ff5-49b4-a225-ccc32f279540/pas8011_olt_pas9011_onu_symmetric_10g_evaluation_kit.pdf)>.
- [16] LAFATA, P.: *Pasivní optické sítě WDM-PON* [online]. 24. 5. 2009 [cit. 20. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticke-site-wdm-pon&cislocclanku=2009050004>>.
- [17] JEŘÁBEK, V.: *Integrovaná optoelektronika a optika* [online]. 2010. 57 s. [cit. 27. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34FOT/prednasky/Integrovan%20optika%20a%20optoelektronika%2010.pdf>>.
- [18] KEYMILE International GmbH: *AON vs. PON – A comparison of two optical access network technologies and the different impact on operations* [online]. 26. 5. 2008. 14 s. [cit. 27. 10. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.slideshare.net/m1chaelangelo/aon-vs-pon>>.
- [19] DUBSKÝ, P.: *Jednovídná optická vlákna se sníženou citlivostí na ohyby* [online]. 27. 4. 2010 [cit. 10. 11. 2010]. Dostupné z URL: <[http://www.ofacom.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=206:g657-vlakna&catid=80:ofs-v-&Itemid=96](http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=206:g657-vlakna&catid=80:ofs-v-&Itemid=96)>.

- [20] FILKA M.: *Přenosová média*. Brno: VUT FEKT, 2003. 111 s.
- [21] SITEL: *Systém Multikálů pro výstavbu kabelovodů* [online]. 13.3. 2009. 14 s. [cit. 11. 10. 2010]. Dostupné z URL: <[http://www.sitel.cz/download/Multikanaly\\_2010.pdf](http://www.sitel.cz/download/Multikanaly_2010.pdf)>.
- [22] *Mikrotrubičkování.cz* [online]. [cit. 15. 11. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.mikrotrubickovani.cz>>.
- [23] AMBROŽ, J.: *Měření optických přenosových tras* [online]. Brno: VUT v Brně. FEKT. Ústav telekomunikací, 2009. 69 s., Bakalářská práce. Vedoucí práce byl Ing. Pavel Reichert. Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18616](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18616)>.
- [24] WINTER, R.: *Testing Fiber Optic Cables* [online]. 87 s. [cit. 3. 5. 2011]. Dostupné z URL: <[http://hannah2.be/optische\\_communicatie/kursusnotas\\_aktueel/CN\\_ROOD/Opfriscursus\\_OTDR,\\_PM-LS\\_&\\_other\\_tools.pdf](http://hannah2.be/optische_communicatie/kursusnotas_aktueel/CN_ROOD/Opfriscursus_OTDR,_PM-LS_&_other_tools.pdf)>.
- [25] TEJKAL, V.; FILKA, M.; REICHERT, P.; ŠPORIK, J.: *Měření pasivních optických sítí*. Elektrorevue - Internetový časopis (<http://www.elektrorevue.cz>), 2010, roč. 2010, č. 16, s. 1-6. ISSN: 1213- 1539. Dostupné z URL: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/download/mereni-pasivnich-optickych-siti/>>.
- [26] tým MIKROKOM s.r.o.: *Co se měří na optických kabelech?* [online]. 4 s. [cit. 19. 4. 2009]. Dostupné z URL: <<http://www.mikrokom.eu/cz/pdf/>>.
- [27] BOHÁČ, L.: *Útlum* [online]. 73 s. [cit. 10. 4. 2009]. Dostupné z URL: <[www.comtel.cz/files/download.php?id=2325](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=2325)>.
- [28] KOSOUR, P., MRÁZEK, T.: *Co lze očekávat od OTDR* [online]. Sítě FTTx v roce 2009, Brno, 12.,13.3. 2009. 10 s. [cit. 9. 4. 2009]. Dostupné z URL: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions&prednasky>>.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$a$  celkový útlum

$a_D$  útlum dělení

$a_Z$  zbytkový útlum

AN Access Node

AON chromatická disperze – Active Optical Network

APON ATM Passive Optical Network

ATM Asynchronous Transfer Mode

AWG Arrayed Waveguide Grating

BER Bit Error Rate

BPON materiálová disperze

CATV Cable TeleVision

CWDM Coarse Wavelength Division Multiplexing

DBA Dynamic Bandwidth Allocation

DWB Dynamic Wavelength Assignment

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing

EPON Ethernet Passive Optical Networks

FBT Fused Biconic Taper

FEC Forward Error Correction

FTTB Fibre To The Building

FTTC Fibre To The Curb

FTTCab Fibre To The Cabinet

FTTEx Fibre To The Exchange

FTTH Fibre To The Home

FTTN Fibre To The Node/Neighborhood

FTTO Fibre To The Office  
 FTTP Fibre To The Promises  
 FTTU Fibre To The Unit  
 FTTx Fibre To The...  
 GEPON Gigabit Ethernet PON  
 GPON Gigabit PON  
 HDPE High Density PolyEthylene  
 HDTV High Definition TeleVision  
 IEC International Electrotechnical Commission  
 IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers  
 ISO International Organization for Standardization  
 ITU-T International Telecommunication Union - sTandardization  
 MCS Mirco Cabling System  
 MPCP Multipoint Control Protocol  
 OAN Optical Access Network  
 ODN Optical Distribution Network  
 OLT Optical Line Terminal  
 OLTS Optical Loss Test Set  
 ONT Optical Network Termination  
 ONU Optical Network Unit  
 ORL Optical Return Loss  
 OTDR Optical Time Domain Reflectometry  
 $P_{CELK\_ODRAZ}$  celkový odražený výkon  
 PLC Planar Lightwave Circuit  
 $P_{ODRAZ}$  odražený výkon



PON Passive Optical Network

$P_{PRIJAT}$  přijatý výkon

$P_{VSTUP}$  vstupní výkon

$P_{VYSTUP}$  výstupní výkon

P2MP Point To MultiPoint

P2P Point To Point

RSU Remote Subscriber Unit

SBA Static Bandwidth Allocation

SDM Space Division Multiplex

SFP Small Form-factor Pluggable

SLA Service Level Agreement

TDM Time Division Multiplex

UTP Unshied Twist Pair

VoIP Voice over IP

WDD Wavelength Division Duplex

WDM Wavelength Division Multiplex

xDSL x Digital Subscriber Line

10GEAPON 10Gigabit Ethernet PON

# SEZNAM PŘÍLOH

## **A Výkresová dokumentace**

Příloha A.1: Polohopis–Katastrální mapa

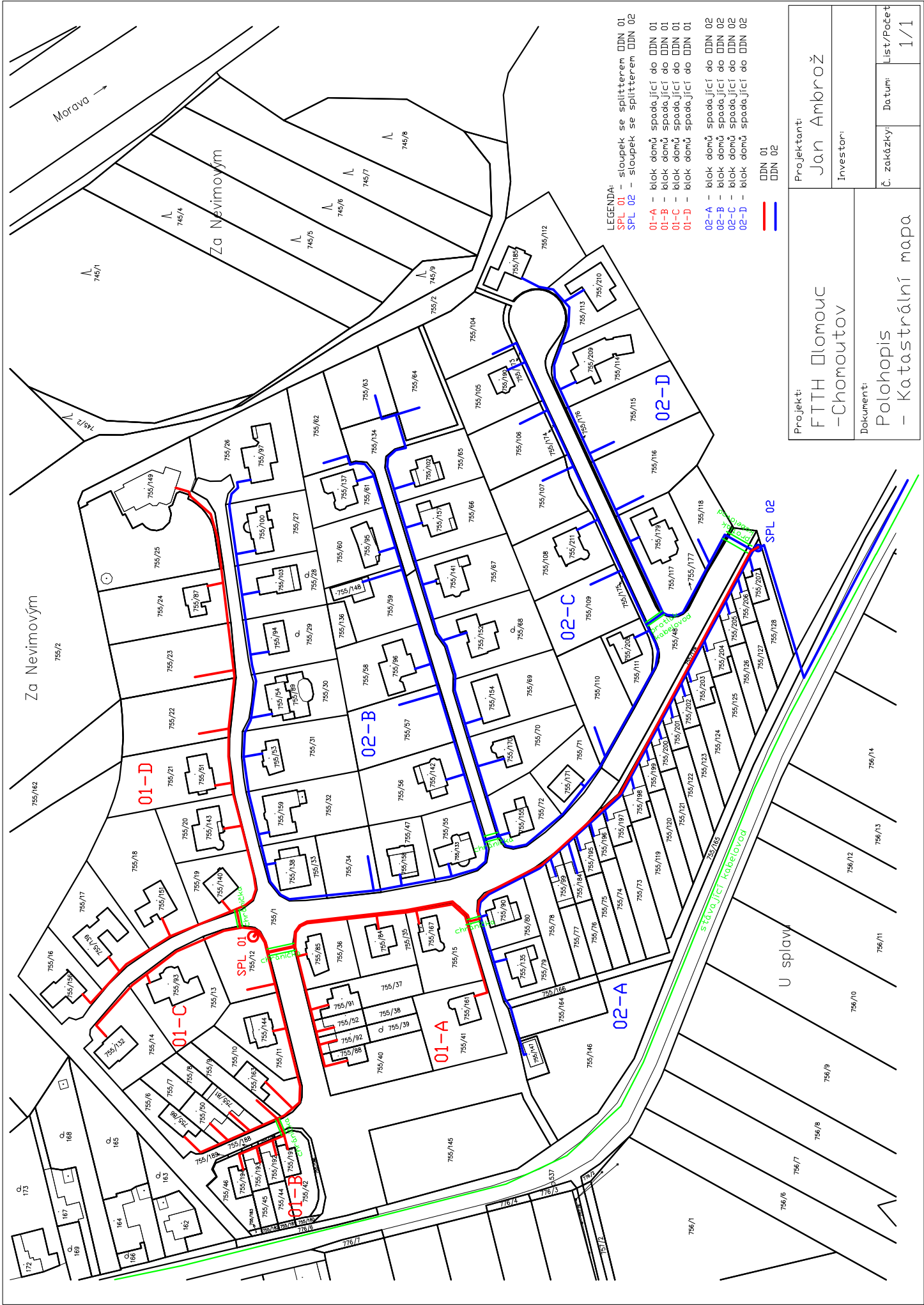
Příloha A.2: Schéma rozvodu mikrotrubiček

Příloha A.3: Schéma optických vláken / Ukončení vláken na straně ONT

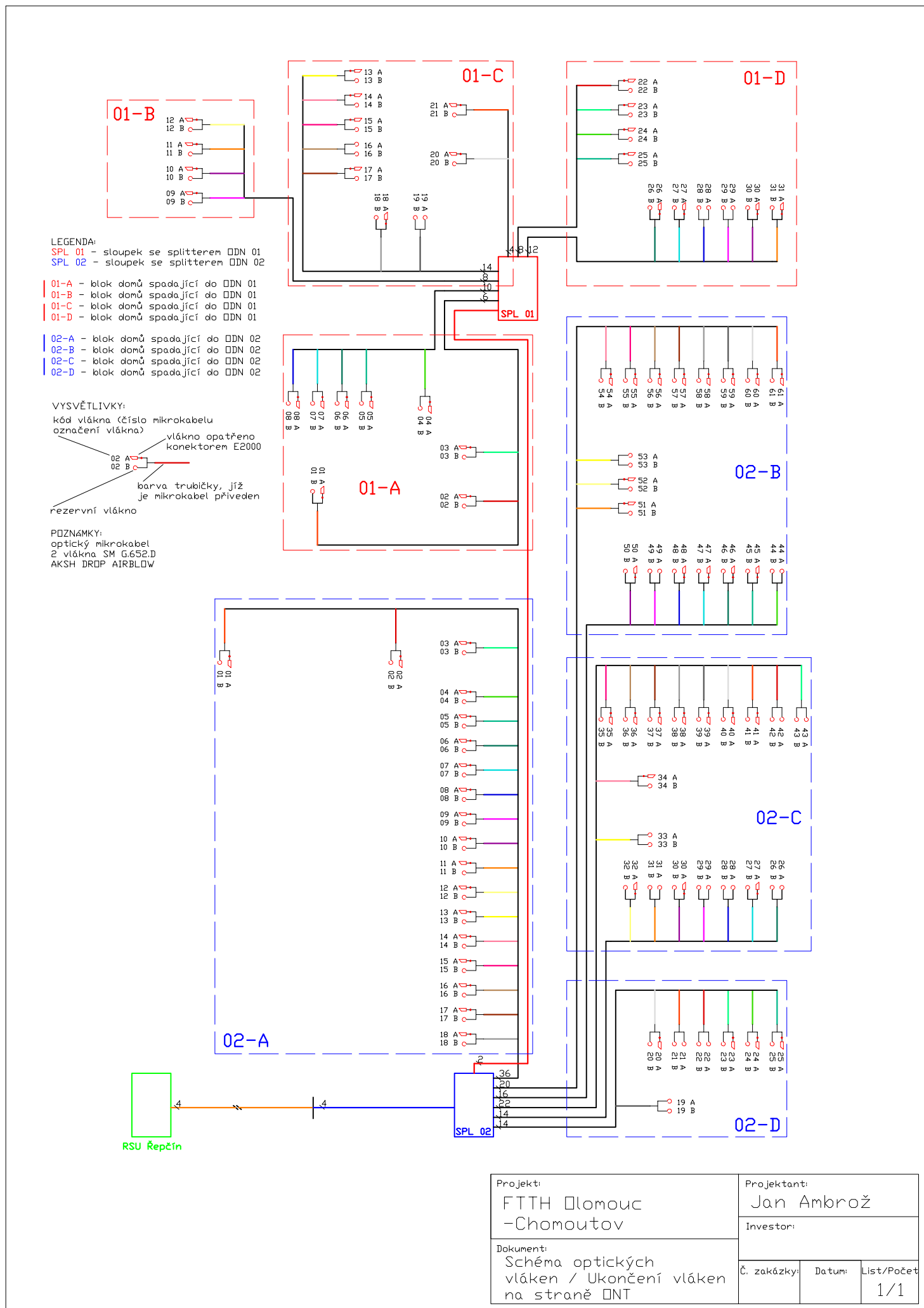
Příloha A.4: Schéma optických vláken / Ukončení vláken na straně rozvaděčů

Příloha A.5: Uložení technologie v centrální stanici

Příloha A.1: Polohopis - Katastrální mapa

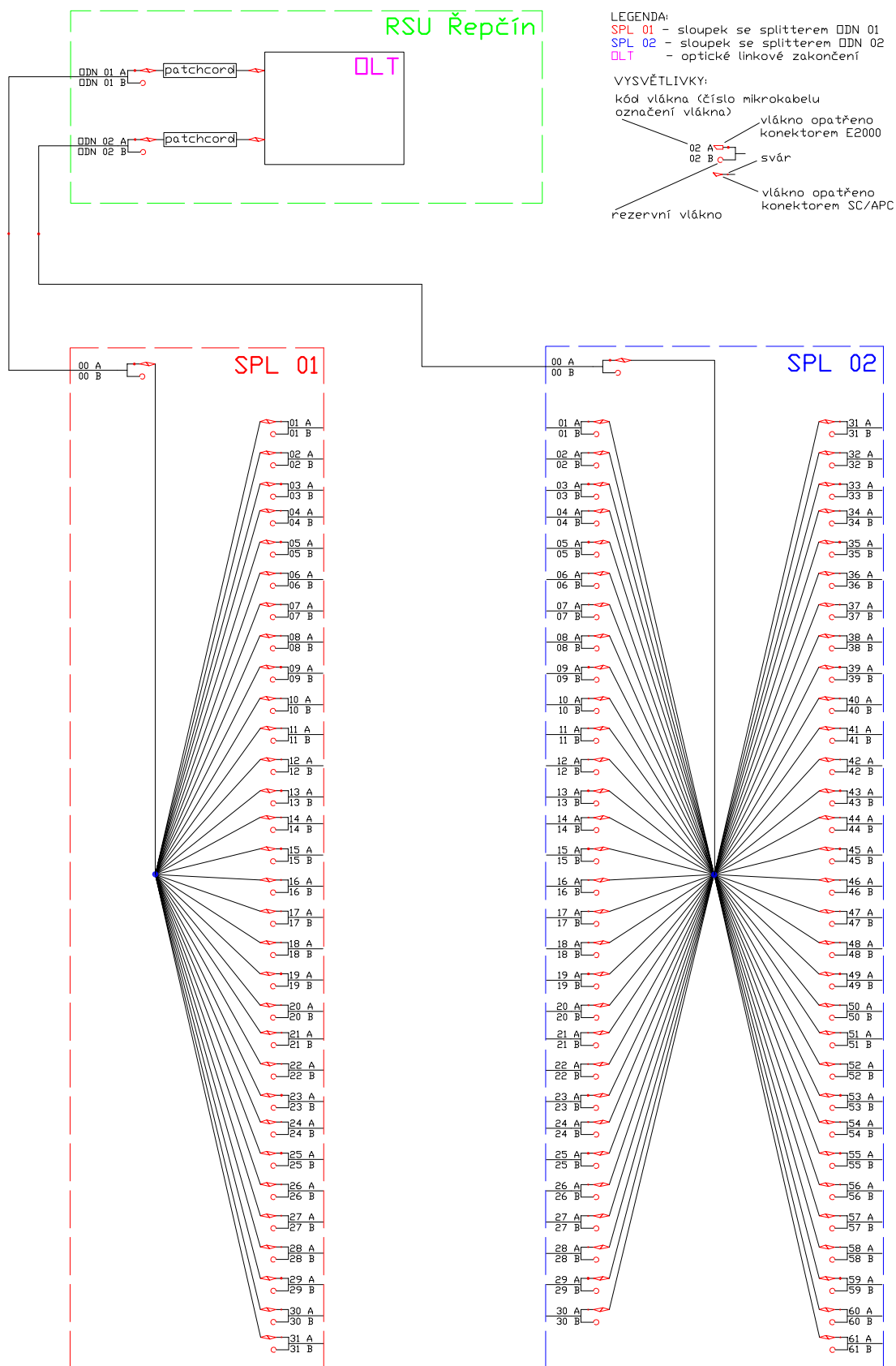






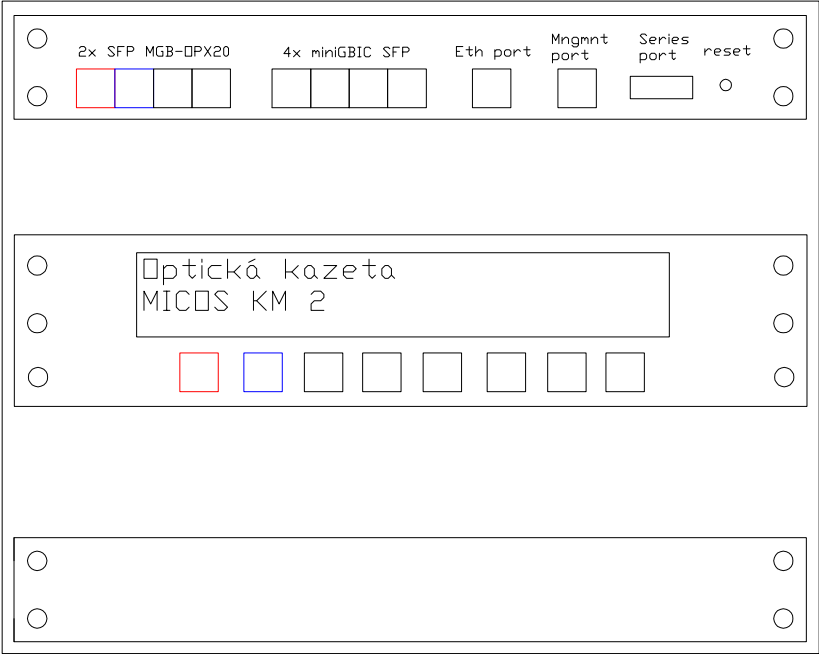
Projekt: FTTH Olomouc -Chomoutov		Projektant: Jan Ambrož		
Dokument: Schéma optických vláken / Ukončení vláken na straně ONT		Investor:		
		Č. zakázky:	Datum:	List/Počet 1/1

# Příloha A.4: Schéma optických vláken / Ukončení vláken v rozvaděčích



Projekt:		Projektant:		
FTTH Olomouc		Jan Ambrož		
-Chomoutov		Investor:		
Dokument:		Č. zakázky:	Datum:	List/Počet
Schéma optických vláken / Ukončení vláken v rozvaděčích				1/1

Skříň  
MICOS MNS 10"



OLT GE PON  
XtendLan GOLT404  
4xPON; 1:64

Optická vana:  
Výsuvný rozvaděč  
MICOS ORMPTR 1,5U/2U

Úschovna  
kabelové rezervy

Projekt: FTTH Olomouc -Chomoutov	Projektant: Jan Ambrož		
	Investor:		
Dokument: Uložení technologie v centrální stanici	Č. zakázky:	Datum:	List/Počet
			1/1